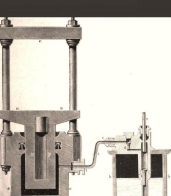


Grundri der Physik und Meteorologie

Johann Heinrich Jacob Müller

Phys. gr. 2014

Mathur

pomona.edu

<36634145710017 S

<36634145710017

E Bayer. Staatsbibliothek

Digitized by Google

Digitized by Google

Phys. 303-28

Grundriß

der

Physik und Meteorologie.

Digitized by Google

Holzstiche
aus dem xylographischen Atelier
von Friedrich Vieweg und Sohn
in Braunschweig.

Papier
aus der mechanischen Papier-Fabrik
der Gebrüder Vieweg zu Wendhausen
bei Braunschweig.

Digitized by Google

Grundriß

der

Physik und Meteorologie.

Für

Lyceen, Gymnasien, Gewerbe- und Realschulen,

sowie zum

Selbstunterrichte.

Von

Dr. Joh. Müller,

Professor der Physik und Technologie an der Universität zu Freiburg im Breisgau.

Achte vermehrte und verbesserte Auflage.

Mit gegen 600 in den Text eingedruckten Holzstichen.

Braunschweig,

Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.

1 8 6 2.

Digitized by Google

Die Herausgabe einer Ueberſetzung in franzöſiſcher und engliſcher Sprache, ſowie in anderen modernen Sprachen wird vorbehalten.

BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS.

Digitized by Google

Vorrede.

Die erste Auflage des vorliegenden »Grundrisses der Physik und Meteorologie« erschien im Frühjahr 1846. Wenn nun jetzt, nach siebenzehn Jahren, bereits eine achte Auflage desselben nöthig geworden ist, so dürfte darin wohl ein Beweis liegen, daß das Werk gerade in dieser Form, bei dieser Behandlungsweise des Gegenstandes dem Zweck entspricht.

Es ist die Aufgabe eines elementaren Lehrbuchs der Naturlehre, die Fundamentalgesetze, mit Beseitigung aller Verwickelungen, welche die Orientirung verwirren, mit Uebergehung aller Specialitäten, welche die Klarheit und Uebersichtlichkeit der Elemente stören könnten, möglichst leicht faßlich, ich möchte sagen, plastisch hinzustellen. Dabei dürfen dem Schüler die physikalischen Wahrheiten durchaus nicht in dogmatisirender Manier als fertige Resultate vorgetragen werden, sondern überall muß ihm die Ableitung der Gesetze klar gemacht werden, er muß den Zusammenhang kennen lernen zwischen den Thatsachen und den aus einer logischen Combination der Thatsachen hervorgegangenen Vorstellungen über die Ursachen und den Zusammenhang der Erscheinungen; kurz der Schüler muß auch im elementaren Unterricht in die physikalische Denk- und Schlußweise eingeführt, mit dem Wesen der inductiven Methode vertraut gemacht werden.

Es ist dies freilich eine schwierige Aufgabe, und ich weiß wohl, daß ich dieselbe in dem vorliegenden Buche nur unvollkommen gelöst habe. Bei der Ausarbeitung jeder folgenden Auflage war ich aber bemüht, mich dem vorgesteckten Ziele mehr und mehr zu nähern, und

Digitized by Google

ſo iſt denn jede folgende Auflage dieſes Grundriſſes im Vergleich mit der vorhergehenden eine weſentlich verbeſſerte. Namentlich war ich bemüht, die Ausdrucksweiſe möglichſt zu vollenden und abzurunden, wobei aber mein Beſtreben vor allen Dingen auf Klarheit und Verſtändlichkeit gerichtet war.

Vorzugsweiſe gilt dies aber für die vorliegende achte Auflage, welche, ohne über den Standpunkt des Werkes hinaus zu gehen, weit mehr mathematiſch gehalten worden iſt, als dies bei den früheren Auflagen der Fall war, und dadurch gerade hat die Ueberſichtlichkeit der vorgetragenen Geſetze weſentlich gewonnen. Die allgemeine Verſtändlichkeit iſt dadurch nicht beeinträchtigt worden, denn die eingeführten Formeln ſind, wo irgend möglich, abgeleitet, ihre Bedeutung aber ſtets genügend erläutert worden. Ferner iſt unſer Grundriß durch dieſe mehr mathematiſche Behandlungsweiſe in eine innigere Beziehung zu dem mathematiſchen Supplementband getreten, welcher gleichzeitig mit der ſiebenten Auflage erſchienen iſt.

In dieſem mathematiſchen Supplementbande ſind einzelne wichtigere Abſchnitte der Phyſik einer eingehenderen mathematiſchen Behandlung unterworfen worden, und dadurch bildet derſelbe nach dieſer Seite hin eine Ergänzung des Grundriſſes für ſolche Lehranſtalten, welche die mathematiſchen Diſciplinen in ausgedehnterem Maaße cultiviren können.

Um die Correſpondenz der Paragraphen des Grundriſſes und des Supplementbandes nicht zu ſtören, mußte die alte Paragraphenordnung vollſtändig beibehalten werden; deshalb aber mußten hier und da kleine Aenderungen unausgeführt bleiben, welche wohl ſonſt angezeigt geweſen wären.

Eine weſentliche Umgeſtaltung hat die Theorie der Volta'ſchen Säule erfahren, indem als Sitz der elektromotoriſchen Kraft nur noch die Berührungsſtelle der Metalle mit der erregenden Flüſſigkeit bezeichnet wird. Dadurch wird die Theorie der Säule weit einfacher, als ſie es nach der in den früheren Auflagen des Grundriſſes gegebenen Darſtellung war.

Einen großen Vorzug glaube ich der neuen Auflage durch die Beigabe einer Sammlung von Aufgaben geſichert zu haben, welche ſich den in den einzelnen Paragraphen des Grundriſſes vor-

Digitized by Google

getragenen Lehren enge anschließen, und sowohl beim Schulunterricht als auch beim Selbststudium zur Erläuterung und Einübung derselben wesentlich beitragen. Diese Aufgaben, welche sich möglichst gleichförmig über alle Theile der Physik verbreiten, sind zum großen Theil denjenigen Aufgaben des Supplementbandes entnommen, welche sich nur auf das im Grundriß selbst vorgetragene Material beziehen.

Auch durch eine erhebliche Anzahl neugestochener Figuren ist die neue Auflage bereichert worden, und zwar nicht etwa Figuren, welche nur zur Ausschmückung des Werkes dienen, sondern solche, welche in der innigsten Beziehung zum Texte stehen und zur Kenntniß der Apparate und zum Verständniß der vorgetragenen Materien wesentlich beitragen.

Freiburg, im Juli 1862.

J. Müller.

Digitized by Google

Inhaltsverzeichniß.

Seite

Einleitung.

1. Begriff 1
2. Eintheilung 2
3. Methode 2
4. Allgemeine Eigenschaften der Körper 3
5. Trägheit 4
6. Schwere 4
7. Gewicht 5
8. Masse 6
9. Specifisches Gewicht 7
10. Theilbarkeit 9
11. Veränderlichkeit des Volumens 9
12. Porosität 9
13. Verschiedene Natur der Atome 10
14. Aggregatzustände 10
15. Kräfte und Imponderabilien 11

Erstes Buch.

Mechanik oder die Gesetze des Gleichgewichts und der Bewegung.

Erstes Capitel.

Zerlegung der Kräfte und Gleichgewicht derselben an einfachen Maschinen.

16. Das Parallelogramm der Kräfte 15
17. Die Rolle 20
18. Der Hebel 23
19. Der einarmige Hebel 26
20. Gleichgewicht am Hebel bei schiefwinklig angreifenden Kräften 28
21. Haspel und Räderwerke 30
22. Die schiefe Ebene 33
23. Die Schraube 35
24. Der Keil 38
25. Schwerpunkt 39
26. Vom Gleichgewicht 41
27. Die Wage 45
28. Die Brückenwage 48

Digitized by Google

Seite

Zweites Capitel.

Gleichgewicht der Theile fester Körper unter einander.

29. Die Molekularkräfte bei festen Körpern 51
30. Elasticität 51
31. Festigkeit 53
32. Adhäsion 57
33. Krystallisation 58

Drittes Capitel.

Hydrostatik oder die Lehre vom Gleichgewicht der Flüssigkeiten.

34. Princip der Gleichheit des Drucks 60
35. Communicirende Gefäße 63
36. Freie Oberfläche der Flüssigkeiten 65
37. Bodendruck der Flüssigkeiten 65
38. Seitendruck 68
39. Druck im Innern der Flüssigkeiten, Auftrieb 69
40. Das archimedische Princip 70
41. Anwendung des archimedischen Princips 73
42. Nicholson's Aräometer 74
43. Scalenaräometer 76
44. Alkoholometer 78
45. Aeltere Aräometerscalen 80

Viertes Capitel.

Molekularwirkungen zwischen festen und flüssigen Körpern, sowie zwischen den einzelnen Theilchen der Flüssigkeiten selbst.

46. Adhäsion zwischen festen und flüssigen Körpern 81
47. Cohäsion der Flüssigkeitstheilchen 81
48. Capillarerscheinungen 83
49. Elasticität der Flüssigkeiten 87
50. Die Endosmose 88

Fünftes Capitel.

Vom Gleichgewicht der Gase und dem atmosphärischen Druck.

51. Schwere der Luft 92
52. Elasticität der Luft 93
53. Druck der Luft 93
54. Messung des Luftdrucks 94
55. Construction des Barometers 96
56. Pumpen 98
57. Der Heber 101
58. Das Mariotte'sche Gesetz 102
59. Die Luftpumpe 105
60. Compressionspumpe 109
61. Der Heronsball 110
62. Die Feuerspritze 111

Digitized by Google

Seite
63. Der Heronsbrunnen 112
64. Messung des Drucks eingeschlossener Gase 113
65. Der Luftballon 115

Sechstes Capitel.

Anziehung zwischen gasförmigen und festen, sowie zwischen gasförmigen und flüssigen Körpern.

66. Absorption der Gase durch feste Körper 117
67 a. Absorption der Gase durch Flüssigkeiten 118
67 b. Diffusion der Gase 119

Siebentes Capitel.

Bewegung fester Körper unter dem Einfluß beschleunigender Kräfte.

68. Ruhe und Bewegung 121
69. Gleichförmige Bewegung 121
70. Beschleunigte und verzögerte Bewegung 122
71. Versuche über das Fallgesetz 124
72. Die Atwood'sche Fallmaschine 125
73. Gleichförmig verzögerte Bewegung 127
74. Wurfbewegung 129
75. Centralbewegung 130
76. Schwungkraft 132
77. Vom Pendel 134
78. Gesetze der Pendelschwingungen 135
79. Das materielle Pendel 138
80. Die Pendeluhr 140
81. Leistung oder Arbeit einer Kraft 141
82. Lebendige Kraft 145
83. Hindernisse der Bewegung 146
84. Nutzen und Anwendung der Reibung 149

Achtes Capitel.

Hydraulik oder die Bewegungsgesetze der Flüssigkeiten.

85. Ausflußgeschwindigkeit 150
86. Versuche über Ausflußgeschwindigkeit 151
87. Ausflußmenge 153
88. Einfluß der Ansatzröhren auf die Ausflußmenge 155
89. Seitendruck bewegter Flüssigkeiten 156
90. Reaction, welche durch das Ausströmen der Flüssigkeiten erzeugt wird . . 157
91. Lebendige Kraft der Wassergefälle 158
92. Verticale Wasserräder 159
93. Horizontale Wasserräder 163
94. Die Wassersäulenmaschine 165

Neuntes Capitel.

Bewegung der Gase.

95. Gasometer 168
96. Gebläse 170

Digitized by Google

Seite
97. Geſetze des Ausſtrömens der Gaſe 174
98. Seitendruck der Gaſe beim Ausſtrömen 175

Zweites Buch.

Akuſtik oder die Lehre vom Schall.

Erſtes Capitel.

Geſetze der Wellenbewegung im Allgemeinen und der Schallwellen insbeſondere.

99. Vibrationsbewegung 179
100. Waſſerwellen 181
101. Seilwellen 184
102. Klangfiguren 187
103. Fortpflanzung des Schalles in der Luft 189
104. Geſchwindigkeit des Schalles 192
105. Von der Reflexion des Schalles und dem Echo 193

Zweites Capitel.

Geſetze der Vibrationen muſikaliſcher Töne.

106. Bildung ſtehender Luftwellen in gedeckten Pfeifen 196
107. Orgelpfeifen 200
108. Offene Pfeifen 201
109. Die muſikaliſchen Töne 203
110. Schwingungszahl der muſikaliſchen Töne 205
111. Töne geſpannter Saiten 206
112. Geſetze der Vibrationen von Streifen und Stäben 208
113. Von den Zungenpfeifen 209
114. Mittheilung der Schallſchwingungen zwiſchen feſten, flüſſigen und luftförmigen Körpern 211

Drittes Capitel.

Von der Stimme und dem Gehör.

115. Das Stimmorgan 213
116. Das Gehörorgan 215

Drittes Buch.

Optik oder die Lehre vom Licht.

Erſtes Capitel.

Verbreitung des Lichtes.

117. Leuchtende und dunkle Körper 221
118. Schatten und Halbſchatten 221
119. Intenſität der Erleuchtung in verſchiedener Entfernung von der Lichtquelle 224

Seite

Zweites Capitel.

Katoptrik oder die Lehre von der Reflexion des Lichtes.

120. Reflexion des Lichtes auf ebenen Flächen 227
121. Anwendungen ebener Spiegel 230
122. Reflexion auf gekrümmten Spiegeln 232
123. Sphärische Hohlspiegel 233
124. Von den durch Hohlspiegel erzeugten Bildern 237
125. Die Converspiegel 240
126. Von den Brennlinien 240

Drittes Capitel.

Dioptrik oder Brechung des Lichtes.

127. Das Brechungsgesetz 242
128. Brechung des Lichtes in Prismen 245
129. Sphärische Linsen 247
130. Sammellinsen 248
130 a. Bestimmung der Vereinigungsweite nicht paralleler Strahlen 251
131. Hohllinsen 253
132. Secundäre Axen 254
133. Von den durch Linsen erzeugten Bildern 255

Viertes Capitel.

Zerlegung des weißen Lichtes.

134. Das weiße Sonnenlicht ist aus verschieden gefärbten Strahlen zusammengesetzt 258
135. Die verschiedenfarbigen Lichtstrahlen sind ungleich brechbar 259
136. Aus den einfachen Farben des Spectrums läßt sich das weiße Licht wieder zusammensetzen 260
137. Von den complementären Farben 262
138. Die natürlichen Farben der Körper 263
139. Fluorescenz und Phosphorescenz 264
140. Von der zerstreuenden Kraft verschiedener Substanzen 267
141. Achromatische Prismen und Linsen 268

Fünftes Capitel.

Vom Auge und den optischen Instrumenten.

142. Das Gesichtsorgan 271
143. Einfache Augen mit Sammellinsen 272
144. Deutliches Sehen in verschiedenen Entfernungen 273
145. Weite des deutlichen Sehens, Kurzsichtigkeit und Fernsichtigkeit 274
146. Beziehungen zwischen den Empfindungen des Auges und der Außenwelt 276
147. Sehen mit zwei Augen 278
148. Gränzen der Sichtbarkeit 279
149. Dauer des Lichteindruckes 280
150. Farbige Nachbilder 281
151. Contrastfarben 282
152. Die camera obscura 283
153. Die Loupe oder das einfache Mikroskop 284

Digitized by Google

Seite
154. Das Sonnenmikroskop 287
155. Das zusammengesetzte Mikroskop 288
156. Dioptrische Fernröhre 289
157. Spiegelteleskope 294

Sechstes Capitel.

Interferenzerscheinungen.

158. Hypothesen über das Wesen des Lichtes 296
159. Elemente der Vibrationstheorie 297
160. Interferenz der Lichtstrahlen 299
161. Die Beugung des Lichtes 301
162. Länge der Lichtwellen 303
163. Farben dünner Blättchen 304
164. Polarisation des Lichtes 306
165. Doppelte Brechung 311

Siebentes Capitel.

Chemische Wirkungen des Lichtes.

166. Einfluß des Lichtes auf chemische Verbindungen und Zersetzungen . . . 315
167. Photographie 316

Viertes Buch.

Die elektrischen Erscheinungen.

Erstes Capitel.

Vom Magnetismus.

168. Anziehung des Eisens durch Magnete 321
169. Magnetische Polarität 322
170. Magnetisirung des Eisens durch Magnete 322
171. Magnetische Flüssigkeiten 323
172. Verschiedene Formen künstlicher Magnete 325
173. Magnetisirung von Stahlnadeln und Stahlstäben 327
174. Richtung der Magnete, Declination, Inclination 327
175. Variationen der Declination und Inclination 331
176. Intensität des Erdmagnetismus 332
177. Einfluß des Erdmagnetismus auf das Eisen 333
178. Abnahme der magnetischen Effecte mit der Entfernung 334

Zweites Capitel.

Von der Reibungselektricität.

179. Es giebt Körper, welche durch Reiben die Eigenschaft erlangen, leichte Körper anzuziehen 337
180. Leiter und Nichtleiter 338
181. Von den beiden Arten der Elektricität 339
182. Von den elektrischen Flüssigkeiten und dem natürlichen Zustande der Körper 340

Digitized by Google

Seite

183. Elektrische Vertheilung 341
184. Das Elektrometer 342
185. Der elektrische Funken 344
186. Das Elektrophor 345
187. Die Elektrisirmaschine 346
188. Die Dampfelektrisirmaschine 349
189. Abnahme der elektrischen Wirkungen mit zunehmender Entfernung . . . 352
190. Vertheilung der Elektricität auf der Oberfläche leitender Körper . . . 353
191. Gebundene Elektricität 355
192. Die Leydner Flasche 357
193. Der Condensator 360
194. Das elektrische Licht in der Luft und in anderen Gasen 361
195. Elektrisches Licht im verdünnten Raume 363
196. Der elektrische Geruch 364
197. Bewegungen, welche durch das Ausströmen von Elektricität hervorgebracht werden 364
198. Bewegungen durch den elektrischen Rückschlag 365

Drittes Capitel.

Vom Galvanismus.

199. Galvani's Entdeckung 366
200. Volta's Fundamentalversuch 367
201. Die elektromotorische Kraft 368
202. Die Volta'sche Säule 370
203. Die trockene Säule 373
204. Verschiedene Formen der galvanischen Kette 373
205. Die constanten Säulen 375
206. Bestimmung der Pole und der Stromesrichtung einer Bechersäule . . . 377
207. Physiologische Wirkungen der Säule 378
208. Licht- und Wärmeerzeugung durch galvanische Ströme 379
209. Galvanische Wasserzersetzung 379
210. Elektrolyse der Alkalien und Erden 383
211. Elektrolyse der Salze 383
212. Praktische Benutzung der chemischen Wirkung des Stromes 386
213. Elektrochemische Theorie 388
214. Das elektrolytische Gesetz 390
215. Theorie der constanten Ketten 391
216. Theorie der Säule 392
217. Magnetische Wirkungen des galvanischen Stromes 393
218. Der Multiplicator 395
219. Die Tangentenbussole 398
220. Kraft der galvanischen Kette 399
221. Das Ohm'sche Gesetz 401
222. Leitungsfähigkeit der Metalle 405
223. Leitungswiderstand der Flüssigkeiten 406
224. Vergleichung verschiedener Rheomotoren 407
225. Magnetisirung durch den galvanischen Strom 408
226. Elektromagnetische Motoren 410

Digitized by Google

Seite
227. Elektrische Telegraphen 411
228. Richtung der Ströme durch Magnete 415
229. Gegenseitige Wirkung galvanischer Ströme auf einander 416
230. Ampère's Theorie des Magnetismus 418
231. Rotation beweglicher Ströme und Magnete 419

Viertes Capitel.

Inductionserscheinungen.

232. Induction im Nebendrahte 421
233. Einwirkung der Windungen auf einander 426
234. Induction elektrischer Ströme durch Magnete 426
235. Magnetoelektrische Rotationsmaschine 428
236. Diamagnetismus 431

Fünftes Capitel.

Thermoelektrische Ströme und thierische Elektricität.

237. Thermoelektrische Elemente 434
238. Thermoelektrische Säulen 436
239. Thierische Elektricität 437

Fünftes Buch.

Von der Wärme.

Erstes Capitel.

Ausdehnung.

240. Wirkungen der Wärme 441
241. Das Thermometer 441
242. Ausdehnung fester Körper 445
243. Die cubische Ausdehnung 448
244. Ausdehnung der Flüssigkeiten 449
245. Ausdehnung der Gase 450

Zweites Capitel.

Veränderung des Aggregatzustandes.

246. Das Schmelzen 453
247. Gebundene Wärme 454
248. Das Erstarren 456
249. Dampfbildung 457
250. Maximum der Spannkraft der Dämpfe 458
251. Einfluß der Temperatur auf die Spannkraft des gesättigten Dampfes . 461
252. Messung der Spannkraft der Wasserdämpfe 462
253. Der Dampfkessel 466
254. Die Dampfmaschine 468
255. Niederdruckmaschinen 474
256. Die Locomotive 477
257. Berechnung des Effects der Dampfmaschinen 480

Digitized by Google

Seite
258. Abhängigkeit des Siedepunktes vom Drucke 482
259. Siedepunkte verschiedener Flüssigkeiten 485
260. Verdunstung 485
261. Latente Wärme der Dämpfe 486
262. Erzeugung von Kälte durch Verdampfung 490

Drittes Capitel.

Specifische Wärme der Körper.

263. Begriff der specifischen Wärme 492
264. Resultate der Versuche über die specifische Wärme 494
265. Specifische Wärme der Gase 495

Viertes Capitel.

Fortpflanzung der Wärme.

266. Strahlende Wärme 496
267. Wärmestrahlungsvermögen der Körper 499
268. Absorption der Wärmestrahlen 499
269. Reflexion und Diffusion der Wärmestrahlen 500
270. Fähigkeit der Körper, Wärmestrahlen durchzulassen 501
271. Wärmeverhältnisse des Sonnenspectrums 503
272. Verbreitung der Wärme durch Leitung 504
273. Wärmeleitungsfähigkeit der Flüssigkeiten und Gase 505

Fünftes Capitel.

Quellen der Wärme.

274. Wärmeerzeugung durch chemische Verbindungen 507
275. Thierische Wärme 508
276. Wärmeentwickelung durch mechanische Mittel 509
277. Theoretische Ansichten über die Wärme 509

Sechstes Buch.

Meteorologie.

Erstes Capitel.

Vertheilung der Wärme auf der Erdoberfläche.

278. Die Erwärmung der Erdoberfläche durch die Sonnenstrahlen 513
279. Die fünf Zonen 514
280. Die täglichen Variationen der Lufttemperatur 515
281. Die Jahreszeiten 515
282. Modificationen normaler Temperaturverhältnisse 518
283. Mittlere Temperatur der Tage, der Monate und des Jahres 519
284. Jahresisothermen 521
285. Isotheren und Isochimenen 525
286. Land- und Seeklima 527
287. Ursachen der Biegung der Isothermen 528
288. Temperatur des Bodens 530
289. Abnahme der Temperatur in den höheren Luftregionen 531

Digitized by Google

Seite

Zweites Capitel.

Die Atmosphäre, ihr Druck und ihre Strömungen.

290. Die Lufthülle der Erde 533
291. Variationen des Barometerstandes 534
292. Ursachen der Barometerschwankungen 535
293. Entstehung der Winde 537
294. Passatwinde und Moussons 538
295. Winde in höheren Breiten 540
296. Gesetz der Winddrehung 541
297. Stürme 542

Drittes Capitel.

Von der atmosphärischen Feuchtigkeit.

298. Verbreitung des Wasserdampfes in der Luft 545
299. Daniell's Hygrometer 546
300. August's Psychrometer 548
301. Tägliche und jährliche Variationen im Wassergehalte der Luft 548
302. Feuchtigkeit der Luft in verschiedenen Gegenden 550
303. Der Thau 550
304. Nebel und Wolken 551
305. Regenmenge 554
306. Regen zwischen den Wendekreisen 556
307. Schnee und Hagel 557

Viertes Capitel.

Optische Erscheinungen der Atmosphäre.

308. Farbe des Himmels 560
309. Der Regenbogen 562
310. Höfe und Nebensonnen 565
311. Irrlichter 566
312. Sternschnuppen, Feuerkugeln und Meteorsteine 567

Fünftes Capitel.

Von der atmosphärischen Elektricität und dem Erdmagnetismus.

313. Entdeckung der atmosphärischen Elektricität 569
314. Elektricität während der Gewitter 570
315. Wirkungen des Blitzes auf der Erde 571
316. Die Blitzableiter 573
317. Die magnetischen Curven 575
318. Das Nordlicht 579

Anhang.

Verhältniß des neueren französischen Maaßsystems zu anderen Maaßsystemen 582
Tabelle der specifischen Gewichte fester Körper 586
Specifisches Gewicht einiger Flüssigkeiten 587
Specifisches Gewicht einiger Gase 587
Aufgaben 588

Einleitung.

Begriff. Die großartigen Schauspiele, welche uns die Natur täglich dar- 1
bietet, regen unsere Wißbegierde so mächtig an, daß wir uns unwillkürlich hingezogen fühlen, über die Gesammtheit der Ursachen nachzudenken, welche diese wunderbaren Wirkungen hervorbringen. Es ist nun die Aufgabe der *Naturwissenschaften*, sich mit diesen Fragen zu beschäftigen, den Zusammenhang zwischen den verschiedenen Naturerscheinungen zu ermitteln und sie, *so weit es möglich ist*, auf ihre Ursachen zurückzuführen.

Die gesammten Naturwissenschaften haben es mit *Körpern* zu thun; hier ist aber das Wort „*Körper*“ nicht in dem Sinne des Mathematikers zu nehmen, der nur die Raumverhältnisse betrachtet und nicht nach dem Stoffe fragt, welcher den Raum erfüllt; der Naturforscher betrachtet gerade die Eigenschaften der den Raum erfüllenden Materie.

Das innere Wesen der Körper ist uns verschlossen, sie sind uns nur durch die äußere Erscheinung bekannt, d. h. wir wissen von ihnen zunächst nur das, was wir durch die Vermittelung unserer Sinne von ihnen erfahren. Ein Körper außer Zusammenhang mit unseren Sinnen ist für uns so gut wie nicht vorhanden. Es ist möglich, ja wahrscheinlich, daß noch Manches in der Natur um uns her vorgeht, wovon wir keine Ahnung haben, weil uns dafür gewissermaßen ein Sinn fehlt.

Die Naturwissenschaften haben nun zwischen den durch Vermittelung der Sinne zum Bewußtsein gebrachten Erscheinungen einen Zusammenhang auszumitteln und sie so zusammenzustellen, wie sie sich einander erläutern und bedingen. Ist man im Stande, eine Erscheinung auf ihren Zusammenhang mit anderen zurückzuführen, so ist diese Erscheinung *erklärt*, und man kennt ein *Naturgesetz*, sobald man die unveränderliche Zusammenhangsart von Naturerscheinungen kennt, wenn uns auch die *letzten* Ursachen unbekannt bleiben.

2 **Einleitung.** Das große Gebiet der Naturwissenschaften zerfällt zunächst in zwei große Abtheilungen, die *Naturbeschreibung* und die *Naturlehre*. Die *Naturbeschreibung*, gewöhnlich *Naturgeschichte* genannt, lehrt uns die Beschaffenheit einzelner Gegenstände kennen und ordnet sie nach ihrer Aehnlichkeit in Systeme; die *Naturlehre* will dagegen die Gesetze zur Einsicht bringen, nach welchen die Veränderungen in der Natur vor sich gehen und nach welchen die verschiedenen Körper auf einander einwirken.

Die *Physik* ist derjenige Theil der Naturlehre, welcher es mit den Gesetzen derjenigen Erscheinungen zu thun hat, die nicht auf einer Veränderung der Bestandtheile der Körper beruhen; denn damit beschäftigt sich die *Chemie*.

Begreiflicher Weise läßt sich das Feld dieser beiden Wissenschaften nicht immer scharf trennen, und viele Erscheinungen müssen sowohl in der einen wie auch in der anderen besprochen werden. Beide Wissenschaften, Physik und Chemie, sind aufs Innigste mit einander verwandt, ja sie bilden gewissermaßen ein Ganzes, welches nur deshalb äußerlich getrennt erscheint, weil die Masse des zu untersuchenden Materials zu sehr angewachsen ist.

3 **Methode.** Es handelt sich nun zunächst darum, den Weg zu bezeichnen, auf welchem man zur Erkenntniß der Naturgesetze gelangen kann und auf welchem in der That alles bis jetzt Erkannte gefunden worden ist. *Die Erkenntnißquelle sowohl als auch der Weg zur Erkenntniß ist nicht und kann nicht für alle Wissenschaften derselbe sein.* Der Mathematiker kann, von selbstgeschaffenen Begriffen ausgehend, aus sich heraus seine ganze Wissenschaft entwickeln, ja es wäre denkbar, daß ein Mensch in seinen vier Wänden, abgeschlossen von aller Naturanschauung, die ganze Mathematik aus den Begriffen des Raumes und der Zahl construirte. In dieser Beziehung ist die Mathematik eine rein *speculative* Wissenschaft, was die Naturwissenschaften durchaus nicht sind und nicht sein können, da sie Dinge behandeln, welche einzig und allein durch sinnliche Wahrnehmung, also auf dem Wege der Erfahrung, zu unserem Bewußtsein kommen.

Den Alten war eine auf Erfahrung sich stützende Naturforschung in unserem Sinne gänzlich unbekannt; wir finden bei ihnen nur philosophische Speculationen über die Welt überhaupt, über die Entstehung und das Urwesen aller Dinge, und es kann uns nicht wundern, wenn die auf diesem Wege entwickelten Vorstellungen über die Natur der Dinge oft nichtssagend sind, oder sogar mit der Erfahrung in directem Widerspruche stehen.

Auch im Mittelalter wurden die Naturwissenschaften nur wenig weiter entwickelt, theils weil die ganze geistige Thätigkeit jener Zeit anderen Interessen zugewandt war, theils weil die Aristotelische Philosophie in so hohem Ansehen stand, daß dadurch jede weitere Prüfung der in derselben ausgesprochenen Naturansichten und also auch jeder Fortschritt abgeschnitten war.

Erst *Galiläi* schlug den *Weg der Erfahrung* ein und *Baco von Verulam* zeigte, daß es nur auf diese Weise möglich sei, zur Kenntniß der Naturgesetze zu gelangen.

Die einzige Quelle unserer Naturerkenntniß ist die sinnliche Wahrnehmung, die Erfahrung, die Beobachtung. Aus dieser Quelle schöpfen wir das Material, welches durch unser geistiges Zuthun zur Wissenschaft verarbeitet und vereinigt werden soll.

Die wissenschaftlichen Wahrnehmungen machen wir entweder an Veränderungen, die uns die Natur selbst darbietet, oder wir versetzen die Körper durch Kunst unter solche Umstände, wodurch sie genöthigt werden, gewisse Erscheinungen hervorzubringen. Im ersten Falle stellen wir eine Beobachtung, im zweiten einen Versuch an.

Durch gute Beobachtungen und zweckmäßig angestellte Versuche lernen wir den äußeren Zusammenhang der Erscheinungen kennen. Dieser Zusammenhang ist es, was wir ein Naturgesetz nennen.

Auf dem Wege der Erfahrung können wir zur Kenntniß dieser Gesetze gelangen, wenn uns auch der innere Zusammenhang, die Natur der Kräfte, das Wesen der Dinge, ganz und gar unbekannt ist. Das Gesetz der Brechung des Lichtes war lange schon bekannt, ehe man über die Natur des Lichtes im Reinen war; ebenso kennen wir die Gesetze der elektrischen Vertheilung, obgleich wir über das Wesen der Elektricität selbst so gut wie nichts wissen.

Nur der äußere, nicht der innere Zusammenhang kann durch die Erfahrung gefunden werden. Ueber die inneren Ursachen der Erscheinungen, über das Wesen der Kräfte, welche sie hervorbringen, können wir nur Hypothesen aufstellen. Die Hypothesen sind gleichsam Fragen, die man an die Natur stellt, worauf sie aber nicht mit Ja und Nein antwortet, sondern: es kann so sein, oder: es kann nicht so sein.

Aus einer Hypothese, die man über die Ursache mehrerer zusammenhängender Erscheinungen aufgestellt hat, lassen sich meistens weitere Folgerungen ziehen, welche durch fernere Beobachtungen entweder bestätigt oder als unzulässig erkannt werden. Je mehr Thatsachen sich mit Hülfe einer Hypothese erklären lassen, je mehr sie durch neue Beobachtungen bestätigt wird, desto mehr Wahrscheinlichkeit gewinnt sie.

In allen Zweigen der Physik finden wir Beispiele und Belege für die Richtigkeit der eben ausgesprochenen Ansichten.

Allgemeine Eigenschaften der Körper. Da sich die Physik 4
mit Körpern beschäftigt, so ist es vor allen Dingen wichtig, daß man sich eine Vorstellung von dem Wesen dieser Körper bildet, und dazu gelangt man zunächst durch die Betrachtung der allgemeinen Eigenschaften, d. h. derjenigen Eigenschaften, welche wir an allen Körpern beobachten, so verschieden sie auch sonst sein mögen.

Zum Wesen eines Körpers ist nothwendig, daß er einen begränzten Raum einnimmt, daß er also eine Ausdehnung hat, und daß in demselben Raume nicht zu gleicher Zeit zwei Körper vorhanden sein können, was man mit dem Namen der Undurchdringlichkeit bezeichnet. Außer diesen beiden Eigenschaften, ohne welche die Materie gar nicht denkbar ist, beobachtet man aber noch

andere allgemeine Eigenschaften, nämlich Trägheit, Schwere, Theilbarkeit und Veränderlichkeit des Volumens.

5 **Trägheit.** In der ganzen Natur kann keine Veränderung in dem Zustande der Dinge vorgehen, ohne daß sie von einer besonderen Ursache veranlaßt wird; was für Veränderungen also ein Körper auch erleiden mag, seien es nun Veränderungen im Zustande der Ruhe oder der Bewegung, seien es Veränderungen seines Aggregatzustandes u. s. w., immer ist, um eine solche Veränderung hervorzubringen, eine Kraft nöthig. Ist ein Körper in Ruhe, so ist eine Kraft nöthig, um ihn in Bewegung zu setzen; ist er in Bewegung, so ist eine Kraft nöthig, um ihn in Ruhe zu bringen; ein Körper, der einmal in Bewegung ist, wird seine Bewegung mit unveränderlicher Geschwindigkeit in unveränderter Richtung fortsetzen, bis sie durch äußere Hindernisse aufgehoben wird. Man bezeichnet die eben besprochene Eigenschaft der Körper mit dem Namen der Trägheit oder des Beharrungsvermögens.

Schon im alltäglichen Leben finden wir zahlreiche Erscheinungen, welche sich durch das Gesetz der Trägheit erklären lassen. Das Schwungrad einer Maschine läuft noch eine Weile fort, wenn auch die Kraft, welche die Maschine treibt, zu wirken aufgehört hat; es würde ewig fortlaufen, wenn die Reibung die Bewegung nicht fortwährend verzögerte.

Wenn man stark läuft, kann man nicht plötzlich einhalten, und wenn man in einem Nachen steht, fällt man mit dem Oberkörper rückwärts, wenn der Nachen eben vom Lande abstößt, vorwärts, wenn er anstößt. Wir werden später Gelegenheit haben, den Einfluß der Trägheit auf die Bewegungserscheinungen noch genauer nachzuweisen.

Dem Gesetze der Trägheit zufolge muß ein Körper jeder Kraft einen Widerstand entgegensetzen, welche ihn aus dem Zustande der Ruhe in Bewegung zu setzen, oder welche, wenn einmal der Körper in Bewegung ist, seine Bewegung zu beschleunigen oder zu verzögern strebt.

Wir wollen diese Art des Widerstandes als Beschleunigungswiderstand bezeichnen, um ihn von den Bewegungswiderständen (entgegenwirkende Kräfte, Reibung, Luftwiderstand u. s. w.) zu unterscheiden, welche ganz anderer Natur sind und welche später noch besprochen werden sollen.

Die Masse eines Körpers, d. h. die Quantität der Materie (des Stoffes), aus welcher er besteht, ist dem Beschleunigungswiderstand proportional, welchen er irgend einer Kraft entgegensetzt, die seinen Bewegungszustand zu ändern strebt.

Die Begriffe von Trägheit und Masse werden erst durch Späteres, namentlich durch die Lehre von der Schwerkraft und durch die Bewegungsgesetze, recht klar und geläufig werden.

6 **Schwere.** Wenn man einen Stein, ein Stück Holz u. s. w. vom Boden entfernt und dann sich selbst überläßt, so fallen sie, bis sie den Boden oder irgend einen anderen Körper treffen, welcher sie aufhält. Da die Materie träge

ist, so kann sie nicht von selbst aus dem Zustande der Ruhe in den der Bewegung übergehen. Wenn wir also sehen, daß ein ruhender Körper in demselben Momente sich zu bewegen beginnt, in welchem wir ihm seine Unterstützung entziehen, so müssen wir dies einer Kraft zuschreiben, und diese Kraft nennen wir Schwere.

Fig. 1.

Die Richtung der Schwerkraft ist die des Bleiloths, Fig. 1, d. h. die Richtung eines in seiner Ruhelage befindlichen biegsamen Fadens, an welchem irgend ein schwerer Körper, etwa eine Bleikugel, angehängt ist.

Die Richtung des Bleiloths wird auch als senkrechte oder verticale Richtung bezeichnet.

Das Bleiloth ist stets gegen den Mittelpunkt der Erde gerichtet.

Wenn ein Körper durch irgend eine Unterlage am Fallen verhindert ist, so hört deshalb die Wirkung der Schwere nicht auf, sie äußert sich in diesem Falle durch einen Druck, welcher auf die Unterlage ausgeübt wird.

Die Schwere ist eine allgemeine Eigenschaft der Körper, d. h. sie ist nicht allein eine Eigenschaft der festen Körper, sondern sie kommt auch den Flüssigkeiten und den Gasen zu. Das Fallen der Regentropfen beweist schon die Schwere der Flüssigkeiten; daß aber auch die Gase Schwere besitzen, daß also die ganze Luftmasse, welche unseren Erdball umgiebt, auf die Erdoberfläche drückt, dafür werden wir später noch Beweise finden.

Gewicht. Die Größe des Druckes, welchen ein Körper auf seine Unter- 7
lage ausübt, heißt sein Gewicht; dieser Druck wächst nun mit der Anzahl seiner materiellen Theilchen. Um das Gewicht verschiedener Körper mit einander zu vergleichen, bedienen wir uns der Wage, deren Anwendung allgemein bekannt ist, deren Einrichtung aber später noch beschrieben werden soll.

In Frankreich ist das Gramm gesetzlich als Einheit des Gewichts bestimmt; aber auch in anderen Ländern wird diese Gewichtseinheit fast ausschließlich bei wissenschaftlichen Untersuchungen angewandt. Das Gramm ist das Gewicht von einem Cubikcentimeter reinen Wassers im Zustande seiner größten Dichtigkeit.

Das französische Gewichtssystem hat den großen Vorzug vor anderen, daß die Einheit des Gewichtes und des Raummaßes in einer einfachen Beziehung stehen, so daß man leicht vom Volumen auf das Gewicht und umgekehrt schließen kann*), weshalb es für die Behandlung vieler physikalischer Fragen von der größten Bequemlichkeit ist.

*) Ein Maß ist nur dann ein- für allemal als unveränderlich bestimmt zu betrachten, wenn es einer unveränderlichen Größe der Natur entnommen ist, und dies ist bei dem neuen französischen Maßsysteme der Fall. Alle übrigen Maßsysteme haben erst durch die Vergleichung mit den französischen Maßen eine feste Bestimmung erhalten.

8 **Masse.** Die Definition der Masse ist bereits in §. 5 gegeben worden; ein bequemes Mittel, sie zu messen, liefert uns aber erst die Schwere.

Die Masse eines Körpers ist stets seinem Gewichte proportional. Dieser Zusammenhang zwischen Masse und Gewicht wird uns überall durch den Versuch nachgewiesen, obgleich er dem Begriff nach nicht durchaus nöthig ist; d. h. es wäre denkbar, daß es in der Natur Körper gebe, auf welche die Schwere gar nicht wirkt, obgleich sie deshalb nicht aufhören, träge Massen zu sein. Es wäre ferner denkbar, daß die Schwerkraft ungleich auf die Theilchen verschiedener Substanzen wirke, daß eine Bleikugel z. B. nur deshalb schwe-

---

Die unveränderliche Größe, welcher die französische Maßeinheit entnommen ist, ist der Erdmeridian, d. h. der Umfang eines größten Kreises der Erdkugel, welcher durch die beiden Pole geht. Der 40millionste Theil dieses Umfangs ist ein Meter.

Die Länge eines Erdmeridians wurde durch eine Reihe mit der größten Sorgfalt angestellter Gradmessungen ermittelt, und bei dieser Messung die ältere französische Maßeinheit, die Toise, zu Grunde gelegt; man erfuhr auf diese Weise also zunächst, wie viel solcher Toisen der Erdmeridian enthalte, und somit war eigentlich schon die Länge der Toise fest bestimmt; da man aber nun ein ganz neues Maßsystem schaffen wollte, so nahm man den 40millionsten Theil des in Toisen ausgedrückten Erdmeridians zur neuen Längeneinheit, kurz man bestimmte nun genau das Verhältniß des Meters zur Toise.

Das Meter wird in 10 Decimeter, in 100 Centimeter, in 1000 Millimeter eingetheilt; der beigedruckte kleine Maßstab stellt ein Decimeter mit seinen Unterabtheilungen so genau dar, als es auf diese Weise möglich ist.

Fig. 2.

Das Verhältniß der wichtigsten Längenmaße zum Meter ist in folgender Tabelle gegeben.

1 rheinländischer oder preußischer Fuß	=	313,85	Millimeter
1 englischer Fuß	=	304,79	„
1 Wiener Fuß	=	316,10	„
1 Pariser Fuß	=	324,84	„
1 Toise = 6 Pariser Fuß	=	1,94904	Meter
1 deutsche oder geographische Meile	=	7407	„
1 englische Seemeile = 1 italienische Meile . . .	=	1852	„

Das gewöhnliche Körpermaß sowohl wie das Flüssigkeitsmaß und das Gewicht ist bei dem französischen Maßsystem vom Längenmaß abgeleitet. Die Einheit des Flüssigkeitsmaßes ist das Liter = 1000 Cubikcentimeter.

Ein Cubikcentimeter Wasser wiegt 1 Gramm. 1000 Gramm machen 1 Kilogramm aus. 1 Liter Wasser wiegt also 1 Kilogramm.

1 Gramm ist = 10 Decigramm = 100 Centigramm = 1000 Milligramm.

Das Pfundgewicht der verschiedenen Länder ist sehr ungleich, doch ist das Pfund in der Regel ziemlich nahe gleich ½ Kilogramm. Das neue preußische, das badische, großh. hessische und schweizerische Pfund ist genau ½ Kilogramm.

1 altes preußisches Pfund	=	467,711	Gramm
1 Londoner Pfund (Troy-pound)	=	373,202	„
1 Wiener Pfund (Handelsgewicht)	=	572,880	„
1 altes französisches Pfund	=	489,506	„

rer wäre als eine gleich große Kugel von Holz, weil eben die Schwere auf die Theilchen des Bleies vorzugsweise wirkte, ohne daß deshalb die Masse der Bleikugel größer wäre als die der Holzkugel. Denken wir uns, um die Sache recht klar zu machen, zwei gleich große Kugeln, eine von Holz, die andere von Blei, und nehmen wir einmal an, die Masse beider, d. h. ihr Beharrungsvermögen, ihr Beschleunigungswiderstand, sei gleich, so müßte offenbar die Bleikugel schneller fallen, da bei gleichem Widerstande die größere Kraft eine größere Geschwindigkeit hervorbringen muß. Nun aber fällt die Bleikugel nicht schneller als die Holzkugel (wenigstens im leeren Raume), und daraus geht hervor, daß die 12mal größere Kraft, welche die Bleikugel zur Erde zieht, auch eine 12mal so große träge Masse in Bewegung zu setzen hat, daß also die träge Masse der Bleikugel 12mal so groß ist als die Masse der Holzkugel.

Da nun die Fallgeschwindigkeit für alle Körper dieselbe ist (im leeren Raume), so schließen wir auf dieselbe Weise, daß die Masse eines Körpers stets seinem Gewichte proportional sei, daß also das Gewicht eines Körpers ein Maß für seine Masse ist.

Specifisches Gewicht. Das specifische Gewicht eines Körpers 9
ist die Zahl, welche angiebt, wie viel mal ein Körper schwerer ist, als ein gleiches Volumen Wasser. Ein Cubikcentimeter Eisen wiegt 7,8, ein Cubikcentimeter Gold 19,258 Gramm, während ein gleiches Volumen Wasser nur 1 Gramm wiegt; also ist 7,8 das specifische Gewicht des Eisens, 19,258 das specifische Gewicht des Goldes. Man findet allgemein das specifische Gewicht eines Körpers, wenn man sein absolutes Gewicht durch das Gewicht eines gleichen Volumens Wasser dividirt.

Bezeichnen wir das specifische Gewicht eines Körpers mit S, sein absolutes Gewicht mit P und das Gewicht eines gleichen Volumens Wasser mit p, so ist also

$$S = \frac{P}{p} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 1)$$

Die Data also, welche man durch den Versuch bestimmen muß, um aus denselben das specifische Gewicht eines Körpers zu berechnen, sind das absolute Gewicht desselben und das Gewicht eines gleichen Wasservolumens.

Am leichtesten ist es, diese Data für Flüssigkeiten auszumitteln. Man fülle ein Gefäß, am besten ein solches, welches oben in einen engen Hals mündet, bis zu einer bezeichneten Höhe (bis zu einem am Halse markirten Striche), einmal mit Wasser, dann mit der zu bestimmenden Flüssigkeit, und ermittele jedesmal mit Hülfe der Wage das Gewicht des Flascheninhaltes.

Es wiege z. B. das Vitriolöl, welches einen Glaskolben bis zu einer Marke am Halse ausfüllt, 1534 Gramm, während das Wasser welches dasselbe Gefäß gleichfalls bis zur Marke füllt, nur 830 Gramm wiegt, so ist das specifische Gewicht des Vitriolöls $\frac{1534}{830} = 1{,}848$.

Wenn man nicht so große Massen der zu bestimmenden Flüssigkeit hat,

wie in dem eben angeführten Beispiele, so kann man geeignete kleinere Gefäße anwenden, etwa ein solches wie Fig. 3, welches mit einem eingeriebenen Stöpsel versehen ist.

Um das specifische Gewicht fester Substanzen zu bestimmen, kann man sich aus demselben einen Körper von regulärer Gestalt formen, etwa einen Würfel, eine Kugel u. s. w., so daß es leicht ist, den cubischen Inhalt der zu untersuchenden Stücke zu berechnen. Das absolute Gewicht solcher Körper findet man durch die Wage; das Gewicht eines gleichen Volumens Wasser ist durch das bekannte Volumen der Körper gegeben. Ein Würfel von Marmor z. B. wiege 21,6 Gr. Wenn nun jede Seite dieses Würfels 2 Centimeter beträgt, so ist der cubische Inhalt desselben 8 Cubikcentimeter; ein gleich großer Würfel von Wasser wird also 8 Gr. wiegen, folglich ist das specifische Gewicht des Marmors $\frac{21,6}{8} = 2,7$.

Fig. 3.

Nicht von jeder Substanz hat man solche Massen, um daraus solche reguläre Körper bilden zu können; außerdem aber ist es ungemein schwierig, ja fast unmöglich, reguläre Körper genau genug zu arbeiten. Man muß deshalb nach anderen Methoden sich umsehen, um das specifische Gewicht fester Körper zu bestimmen. Die meisten dieser Methoden beruhen auf hydrostatischen Gesetzen, welche wir erst später werden kennen lernen.

Ist V das Volumen des Körpers, n das Gewicht der Volumeneinheit Wasser, so ist $p = Vn$. Es ist also

$$S = \frac{P}{V.n} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 2)$$

Wählt man z. B. für die Raumeinheit den preußischen Cubikfuß, für die Gewichtseinheit das (alte) preußische Pfund, so hat man $n = 66$ zu setzen, weil ein preußischer Cubikfuß Wasser 66 Pfund wiegt. Wählt man ein Maaßsystem, bei welchem, wie beim neueren französischen, das Gewicht der Raumeinheit Wasser zur Gewichtseinheit genommen ist (1 Cubikcentimeter Wasser wiegt 1 Gramm), so ist $n = 1$ und die Gleichung 2) reducirt sich auf

$$S = \frac{P}{V} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 3)$$

woraus

$$V = \frac{P}{S} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 4)$$

und

$$P = VS \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 5)$$

Gleichbedeutend mit „specifischem Gewicht“ wird auch oft der Ausdruck „Dichtigkeit“ gebraucht, welcher jedoch eine Hypothese über die Constitution der Materie einschließt, und deshalb leicht Mißverständnisse veranlassen kann.

Theilbarkeit. So weit unsere Erfahrung reicht, sind alle Körper *theil-* 10
bar, d. h. man kann sie in kleinere und immer kleinere Partikelchen zerlegen.

Wie weit aber geht diese Theilbarkeit? Kommen wir bei fortgesetzter Verkleinerung wohl zu Theilchen, die noch sinnlich wahrnehmbar, aber doch nicht weiter theilbar sind? So weit unsere Erfahrung reicht, geht die Theilbarkeit stets über die Gränzen der sinnlichen Wahrnehmung hinaus. Als Beispiel außerordentlicher Theilbarkeit führt man gewöhnlich den Moschus an, welcher Jahre lang ein ganzes Zimmer mit einem intensiven Geruch erfüllen kann, ohne merklich an Gewicht abzunehmen.

Am besten beweisen uns alle chemisch zusammengesetzten Körper, daß die Theilbarkeit über die Gränzen der sinnlichen Wahrnehmung hinausgeht. Der Zinnober z. B. ist aus Quecksilber und Schwefel zusammengesetzt, und man kann ihn leicht in diese beiden Bestandtheile zerlegen; man ist aber nicht im Stande, die kleinen Theilchen von Schwefel und Quecksilber einzeln für sich zu unterscheiden; selbst durch das beste Mikroskop betrachtet, erscheint der Zinnober doch immer noch als eine vollkommen homogene (gleichartige) Masse.

Obgleich nun die Theilbarkeit der Körper weit über die Gränzen der sinnlichen Unterscheidung hinausgeht, so nehmen die Physiker doch aus verschiedenen, namentlich der Chemie entnommenen Gründen an, daß die Theilbarkeit nicht ins Unendliche fortgehe, sondern daß alle Körper aus kleinen, nicht weiter theilbaren, unveränderlichen Urtheilchen bestehen, welche man *Atome* nennt.

Diese Grundansicht von der Constitution der Körper wird mit dem Namen der *atomistischen Theorie* bezeichnet.

Wenn man überhaupt von kleinen Theilchen redet, ohne gerade diese Urtheilchen, die Atome, bezeichnen zu wollen, so bedient man sich gewöhnlich des Wortes *Molekül*, welches mit *Massentheilchen* gleichbedeutend ist.

Veränderlichkeit des Volumens. Eine weitere allgemeine Ei- 11
genschaft ist die *Ausdehnbarkeit* und die damit zusammenhängende *Zusammendrückbarkeit*. Ein und derselbe Körper nimmt nicht immer genau dasselbe Volumen ein; er kann durch Druck und Erkaltung verkleinert, durch Spannung und Erwärmung vergrößert werden. Nehmen wir nun an, daß die Atome ein- für allemal unveränderlich sind, so läßt sich die Ausdehnbarkeit nur durch die Annahme erklären, *daß die Atome nicht in unmittelbarer Berührung stehen, sondern durch Zwischenräume getrennt sind, durch deren Vergrößerung oder Verkleinerung das Volumen der Körper zu- oder abnimmt.*

Porosität. Die Zwischenräume, welche sich zwischen den verschiedenen 12
Theilchen der Körper befinden, nenne man *Poren*. Bezeichnet man mit diesem Namen auch die Zwischenräume zwischen den Atomen der Körper, so ist dem eben Gesagten zufolge jeder Körper porös, die *Porosität* also eine allgemeine Eigenschaft. Im gewöhnlichen Leben versteht man aber unter Poren nur solche Zwischenräume, welche groß genug sind, um Flüssigkeiten und Gase durchzu-

lassen. In diesem Sinne ist die Porosität freilich keine allgemeine Eigenschaft. Ein Schwamm, alle künstlichen Gewebe, Kreide, Bimsstein u. s. w. sind porös im engeren Sinne des Wortes.

13 **Verschiedene Natur der Atome.** Nachdem wir durch die Betrachtung der Theilbarkeit und Ausdehnbarkeit die Grundidee der atomistischen Theorie entwickelt haben, wollen wir zunächst sehen, wie sich die verschiedenen Körper aus Atomen construiren lassen.

Wir finden in der Natur eine Menge von Körpern, deren Eigenschaften so verschieden sind, daß wir nothwendig annehmen müssen, daß schon die Atome, aus denen sie zusammengesetzt sind, eine verschiedene Natur haben. Betrachten wir z. B. Schwefel und Blei; das Verhalten dieser beiden Körper ist außerordentlich verschieden, und wir können diese Verschiedenheit nur dadurch erklären, daß die Atome des Schwefels nicht von derselben Art sind wie die des Bleies.

Die meisten Körper sind nicht aus gleichartigen, sondern aus verschiedenartigen Atomen zusammengesetzt, wenn sie auch dem Ansehen nach ganz gleichartig sind, wie wir dies beim Zinnober schon angeführt haben, der aus Schwefelatomen und aus Quecksilberatomen zusammengesetzt ist; so ist auch das Wasser aus Sauerstoff und Wasserstoff, das Kochsalz aus Chlor und Natrium zusammengesetzt u. s. w. Solche Körper heißen *chemisch zusammengesetzte*, im Gegensatz zu denen, die sich nicht weiter in verschiedenartige Bestandtheile zerlegen lassen, und welche man deshalb auch *einfache Körper*, *Grundstoffe* oder *Elemente* nennt. Man kennt 62 solcher Elemente, d. h. Stoffe, die man bis jetzt wenigstens nicht weiter in verschiedenartige Bestandtheile zu zerlegen im Stande war.

Die verschiedenen Elemente verbinden sich immer nur in bestimmten Gewichtsverhältnissen mit einander, und gerade dieser Umstand ist eine der bedeutendsten Stützen für die atomistische Theorie. Die Grundgesetze der *chemischen Aequivalente* findet man im *Supplementband*. Eine genauere Erörterung derselben so wie überhaupt die Erforschung der Gesetze, nach welchen die Elemente sich zu zusammengesetzten Körpern verbinden, ist der Gegenstand, mit welchem sich die *Chemie* zu beschäftigen hat.

14 **Aggregatzustände.** Wir beobachten an den Körpern außer den eben besprochenen noch andere Verschiedenheiten, die nicht von der Verschiedenheit der Bestandtheile, sondern von der verschiedenen Art und Weise herrühren, wie die Theilchen verbunden sind, ja ein und derselbe Stoff kann uns in sehr verschiedenen Formen erscheinen, wie das Wasser, welches als Eis *fest*, als Wasser *flüssig*, als Dampf aber *gasförmig* ist; ohne die Zusammensetzung zu ändern, können wir das Wasser in Eis und das Eis in Wasser verwandeln, wir können das Wasser verdampfen und den Dampf wieder zu Wasser verdichten.

Alle Körper, welche wir kennen, befinden sich in einem der drei beim Wasser erwähnten Zustände, sie sind entweder *fest*, *flüssig* oder *gasförmig* (luftförmig).

Die festen Körper haben, die geringen Veränderungen abgerechnet,

welche durch die Wärme hervorgebracht werden, ein unveränderliches Volumen und eine selbständige Gestalt; ferner gehört eine mehr oder weniger bedeutende Kraft dazu, um einen festen Körper zu zertheilen. Es ist z. B. unmöglich, ein Stück Eisen auf die Hälfte, auf den dritten Theil seines Volumens zusammenzupressen, oder zu machen, daß es den doppelten, dreifachen Raum einnimmt; nur mit großer Gewalt sind wir im Stande, seine Gestalt zu ändern oder es zu theilen.

Die Flüssigkeiten haben in demselben Sinne wie die festen Körper ein unveränderliches Volumen, d. h. wenn wir sie durch einen starken Druck auch ein klein wenig zusammendrücken können, wenn sie sich auch durch Erwärmung etwas ausdehnen, so sind diese Volumenveränderungen doch immer nur sehr unbedeutend; wir können das Wasser, welches eine Flasche ausfüllt, nicht in ein halb so großes Gefäß hineinpressen, und wenn wir es in ein doppelt so großes Gefäß hineingießen, so füllt es dieses nur zur Hälfte aus. Die Flüssigkeiten haben aber keine selbständige Gestalt, wie die festen Körper, sondern die Gestalt des Raumes, den sie einnehmen, ist von der Form der sie einschließenden festen Körper, also von der Form der Gefäße abhängig; wenn eine Flüssigkeit ein Gefäß nicht ganz ausfüllt, so ist sie oben durch eine horizontale Oberfläche begränzt. Endlich unterscheiden sich die flüssigen Körper von den festen noch dadurch, daß schon die geringste Kraft hinreicht, um ihre Theilchen von einander zu trennen.

Die gasförmigen Körper haben weder eine selbständige Form noch ein bestimmtes Volumen; der Raum, den sie einnehmen, hängt nur von dem äußeren Druck ab. Man kann eine Luftmasse leicht auf $^1/_2$, $^1/_4$... $^1/_{10}$ ihres Volumens zusammenpressen, und umgekehrt, wenn man Gase in einen 2, 4... 10mal größeren leeren Raum bringt, so füllen sie auch diesen vollständig aus, wie wir später noch ausführlicher sehen werden; sie haben also ein Bestreben, sich so viel wie möglich auszudehnen. Die leichte Theilbarkeit haben sie mit den Flüssigkeiten gemein.

Nach der atomistischen Theorie sind die drei Aggregatzustände in folgender Weise zu erklären:

Bei den festen Körpern befinden sich die Atome nicht allein in einer bestimmten Entfernung von einander, sondern auch in einer bestimmten gegenseitigen Lage.

Bei den flüssigen Körpern bleiben die Atome zwar auch in bestimmter Entfernung von einander, sie sind aber leicht gegen einander verschiebbar.

Bei den gasförmigen Körpern ist endlich auch der Abstand der Atome von einander veränderlich.

Kräfte und Imponderabilien. Alle Erscheinungen, welche wir in 15
der Natur wahrnehmen, beweisen uns, daß eine beständige Wechselwirkung sowohl zwischen den verschiedenen Körpern als auch zwischen den einzelnen Theilchen eines und desselben Körpers stattfindet.

Die unsichtbaren Ursachen dieser Wechselwirkung nennen wir Kräfte.

Die Kräfte können nie Gegenstand einer unmittelbaren Wahrnehmung sein. Die Vorstellungen, die wir uns von diesen Kräften machen, sind immer

nur Hypotheſen, die wir ſo conſtruiren und modificiren, wie wir ſie eben zur Erklärung der Thatſachen bedürfen.

Im Allgemeinen iſt in der Phyſik von Kräften zweierlei Art die Rede, von ſolchen nämlich, welche in die Ferne wirken, wie die Schwere, die magnetiſchen und elektriſchen Anziehungs- und Abſtoßungskräfte u. ſ. w., und dann von ſolchen, welche nur in die kleinſten Entfernungen wirken, alſo nur bei faſt unmittelbarer Berührung der Körpertheilchen in Thätigkeit treten und welche deshalb den Namen der Molekularkräfte führen. Dieſe letzteren Kräfte ſind es, welchen wir die Erhaltung der verſchiedenen Aggregatzuſtände und der chemiſchen Verbindungen zuſchreiben.

Die Kraft, welche die Theilchen der feſten Körper zuſammenhält, nennt man Cohäſionskraft und nimmt an, daß ſie ihren Grund in einer gegenſeitigen Anziehung der Atome hat.

Da wir durch Erwärmung feſte Körper ſchmelzen und flüſſige in den gasförmigen Zuſtand überführen können, ſo iſt klar, daß die Wärme der Cohäſionskraft entgegenwirkt; in der Wärme erkennen wir alſo die Expanſionskraft, welche in den gasförmigen Körpern das Uebergewicht über die Cohäſionskraft erlangt hat und ein Beſtreben zeigt, die einzelnen Theilchen möglichſt von einander zu entfernen.

In den tropfbar flüſſigen Körpern iſt die Cohäſionskraft, mit welcher ſich die einzelnen Körpertheilchen anziehen, durch die Wärme (Expanſionskraft) bereits ſo weit überwunden, daß ſchon die geringſte Kraft hinreicht, um eine gegenſeitige Verſchiebung und Trennung der Theilchen zu bewirken.

Um die ausdehnende Kraft der Wärme ſowie die übrigen ſpäter noch ausführlich zu beſprechenden Wärmephänomene zu erklären, nimmt man die Exiſtenz eines eigenthümlichen Wärmeſtoffes an, welcher bei äußerſter Feinheit ſich von den eigentlichen Körpern dadurch unterſcheidet, daß er von der Schwere nicht afficirt wird. Nimmt man nun an, daß dieſer feine Stoff zwiſchen den einzelnen Atomen der Körper einzudringen vermag, daß die einzelnen Atome gleichſam mit Wärmeatmoſphären eingehüllt ſind, und daß ferner die einzelnen Theilchen dieſes unwägbaren Wärmeſtoffes ſich gegenſeitig abſtoßen, ſo begreift man wohl, wie durch Vermehrung der Wärme eines Körpers die von der Anziehung der ponderabeln Atome herrührende Cohäſion geſchwächt wird, und daß endlich, wenn die Repulſion der Wärmeatmoſphären ſtärker iſt als die gegenſeitige Anziehung der ponderablen Atome, der gasförmige Zuſtand eintreten muß.

Die Exiſtenz eines ſolchen Wärmeſtoffes iſt durchaus hypothetiſch; man poſtulirte denſelben, weil man ohne eine ſolche Hypotheſe die Wärmephänomene nicht gut erklären konnte. In neuerer Zeit haben die Phyſiker ihre Anſichten über das Weſen der Wärme weſentlich geändert. Wir werden darauf am Schluſſe der Wärmelehre zurückkommen.

Außer dem Wärmeſtoffe nehmen die Phyſiker noch andere unwägbare (imponderabele) Stoffe an, welche man mit dem gemeinſamen Namen der Imponderabilien bezeichnet, um die Erſcheinungen des Magnetismus und der Elektricität zu erklären. Auch der Aether, durch deſſen Vibrationen man die Lichterſcheinungen erklärt, gehört zu dieſen Imponderabilien.

Erſtes Buch.

Mechanik oder die Geſetze des Gleichgewichts und der Bewegung.

Digitized by Google

Erstes Capitel.

Zerlegung der Kräfte und Gleichgewicht derselben an einfachen Maschinen.

Das Parallelogramm der Kräfte. Sobald an irgend einen 16
Körper eine beschleunigende Kraft einwirkt, so wird durch dieselbe nothwendig sein Bewegungszustand verändert, wenn nicht gleichzeitig andere Kräfte vorhanden sind, welche den Effect dieser ersteren beschleunigenden Kraft aufheben. Ist also ein Körper in Ruhe, so wird jede beschleunigende Kraft, die auf ihn wirkt, ihn auch in Bewegung setzen, es sei denn, daß andere auf denselben Körper einwirkende Kräfte diese Bewegung hindern und also den Körper in Ruhe erhalten. In diesem letzteren Falle sagt man, daß die verschiedenen auf den Körper einwirkenden Kräfte sich einander das Gleichgewicht halten.

Hängt man z. B. eine Bleikugel an einem Faden auf, so wird die Wirkung der Schwerkraft, unter deren alleinigen Einfluß die Kugel fallen würde, durch den Widerstand des Fadens aufgehoben.

Die Statik beschäftigt sich damit, die Bedingungen des Gleichgewichts auszumitteln, die Dynamik dagegen untersucht die Gesetze der Bewegungen, welche entstehen, wenn den Bedingungen des Gleichgewichts nicht genügt ist.

Um Kräfte zu messen, muß man irgend eine beliebige Kraft als Einheit annehmen.

Zwei Kräfte sind gleich, wenn sie nach entgegengesetzten Richtungen, auf einen Punkt wirkend, sich das Gleichgewicht halten. Zwei gleiche Kräfte, die nach derselben Richtung wirken, sind der doppelten Kraft gleichzusetzen. Man würde eine dreifache Kraft haben, wenn man drei gleiche Kräfte nach derselben Richtung wirken ließe, u. s. w.

Wie viele Kräfte auch auf einen materiellen Punkt wirken mögen, welches auch ihre Richtung sein mag, so werden sie ihm doch nur eine einzige Bewegung in einer bestimmten Richtung mittheilen. Es läßt sich demnach eine Kraft denken, welche für sich allein dieselbe Wirkung hervorzubringen im Stande ist, welche also das ganze System jener Kräfte ersetzen kann. Sie führt den Namen

der Reſultirenden. Wenn z. B. ein Schiff durch die gleichzeitige Wirkung des Stromes, der Ruder und des Windes getrieben wird, ſo bewegt es ſich nach einer beſtimmten Richtung; wenn die Wirkungen des Stromes, der Ruder und des Windes aufhörten, ſo könnte man doch offenbar dem Schiffe dieſelbe Bewegung dadurch wieder ertheilen, daß man an einem Seile, welches am Schiffe befeſtigt iſt, eine beſtimmte Kraft nach jener Richtung ziehen läßt. Dies iſt die Reſultirende der drei Kräfte.

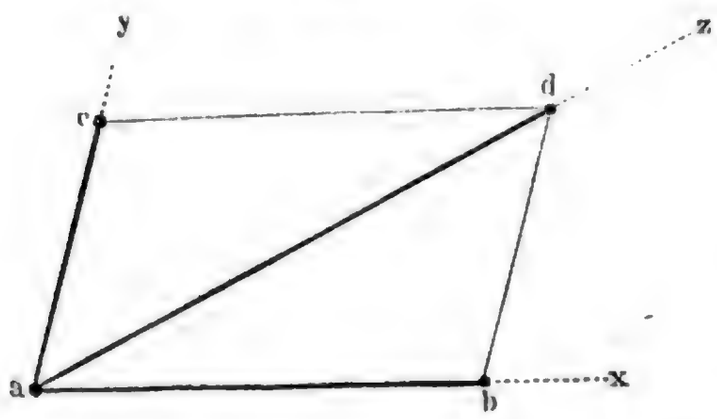
Die Geſammtheit von Kräften, welche auf einen Punkt zuſammenwirken, nennt man ein Syſtem von Kräften. In Beziehung auf die Reſultirende, welche die Geſammtheit der Kräfte erſetzen kann, nennt man dieſe auch die Seitenkräfte, Compoſanten. Es iſt klar, daß, wenn man einem Syſteme von Kräften eine neue Kraft hinzufügt, welche der Reſultirenden des Syſtems gleich und entgegengeſetzt iſt, ſich alsdann alle zuſammenwirkenden Kräfte das Gleichgewicht halten müſſen.

Hätte man z. B., um bei dem oben angeführten Beiſpiele ſtehen zu bleiben, an einem am Schiffe befeſtigten Seile eine Kraft wirken laſſen, welche der Reſultirenden des Stromes, des Windes und der Ruder gleich, aber entgegengeſetzt iſt, ſo würde dieſe neu angebrachte Kraft Gleichgewicht hervorbringen; das Schiff würde ſtill ſtehen müſſen.

Wenn zwei oder mehrere Kräfte nach derſelben Richtung hin wirken, ſo iſt ihre Reſultirende gleich der Summe der einzelnen Kräfte. — Wenn zwei Kräfte gerade in entgegengeſetzter Richtung auf einen Punkt einwirken, ſo iſt die Reſultirende gleich der Differenz der beiden und wirkt in der Richtung der größeren.

Wenn die Richtungen zweier Kräfte, welche auf einen materiellen Punkt wirken, einen Winkel mit einander machen, ſo findet man die Reſultirende nach einem Geſetze, welches unter dem Namen des Parallelogramms der Kräfte bekannt iſt. Man gelangt zu dieſem Geſetze durch folgende einfache Betrachtung.

Fig 4.

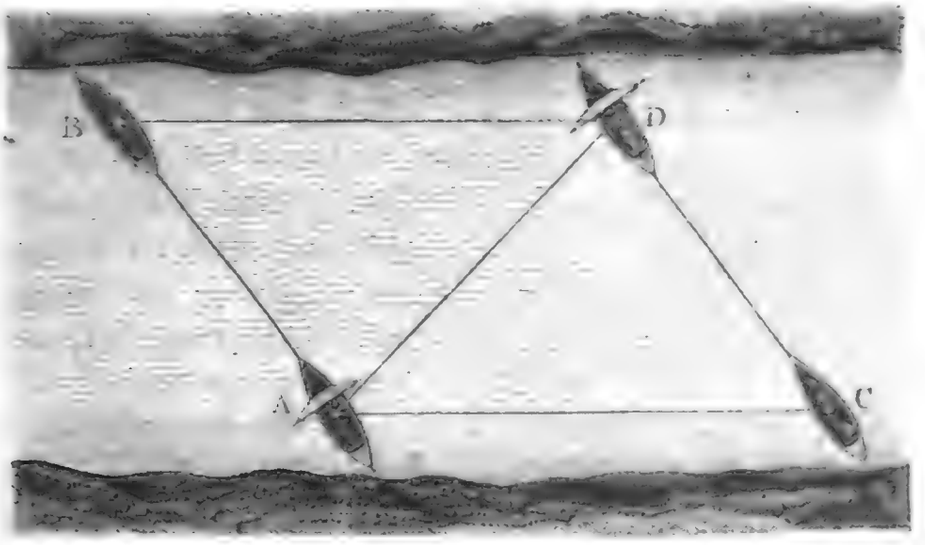


Auf den Punkt a, Fig. 4, ſollen zwei Kräfte gleichzeitig einwirken, die eine nach der Richtung ax, die andere nach der Richtung ay. Die eine Kraft mag von der Art ſein, daß ſie für ſich allein in einem beſtimmten Zeittheilchen, etwa einer Secunde, den Punkt von a nach b bewegen würde, während die andere für ſich allein in einer gleichen Zeit ihn von a nach c treibt. Jede dieſer beiden Kräfte thut ihre Wirkung vollſtändig; wenn alſo der Punkt eine Secunde lang der gleichzeitigen Einwirkung beider Kräfte ausgeſetzt iſt, ſo iſt die Wirkung offenbar dieſelbe, als ob eine Secunde lang der Punkt nur der

Einwirkung der einen, in der folgenden Secunde aber nur der Einwirkung der anderen Kraft unterworfen wäre. Die eine Kraft allein treibt den Punkt in einer Secunde von a nach b. Hörte nun in dem Moment, in welchem er in b ankommt, alle Wirkung dieser Kraft auf, während der Punkt von nun an nur der Einwirkung der zweiten Kraft folgt, so würde er am Ende der folgenden Secunde in d anlangen. In demselben Punkte d muß also auch der Punkt a nach einer Secunde ankommen, wenn beide Kräfte gleichzeitig wirken.

Ein Beispiel wird es anschaulicher machen. Von dem Punkte A, Fig. 5, an dem Ufer eines Flusses, fährt ein Schiff ab, auf welches gleichzeitig zwei Kräfte, der Strom und der Wind, einwirken. Nehmen wir an, das Schiff werde durch

Fig. 5.



den Wind allein in einer bestimmten Zeit, etwa in einer Viertelstunde, quer über den Fluß, von A nach B, getrieben, durch den Strom allein aber würde es, wenn gar kein Wind ginge, in derselben Zeit von A nach C gelangen, so muß es, wenn Strom und Wind gleichzeitig wirken, in einer Viertelstunde den Weg von A bis D zurücklegen, d. h. es muß nach einer Viertelstunde unter gleichzeitiger Wirkung beider Kräfte in demselben Punkte D ankommen, als ob eine Viertelstunde lang der Wind alleinwirkend das Schiff von A bis B getrieben hätte, und es alsdann in der folgenden Viertelstunde durch den Strom allein von B bis D geführt worden wäre.

Die Linie ad, Fig. 4, ist die Diagonale des Parallelogramms $abcd$; das durch unsere Betrachtung gefundene Gesetz kann demnach folgendermaßen ausgedrückt werden:

„Die Resultirende zweier Kräfte, welche gleichzeitig unter irgend einem Winkel auf einen materiellen Punkt einwirken, ist von der Art, daß sie den Punkt durch die Diagonale des Parallelogramms zu bewegen strebt, welches man aus den Bahnen construiren kann, welche jeder der Seitenkräfte entsprechen."

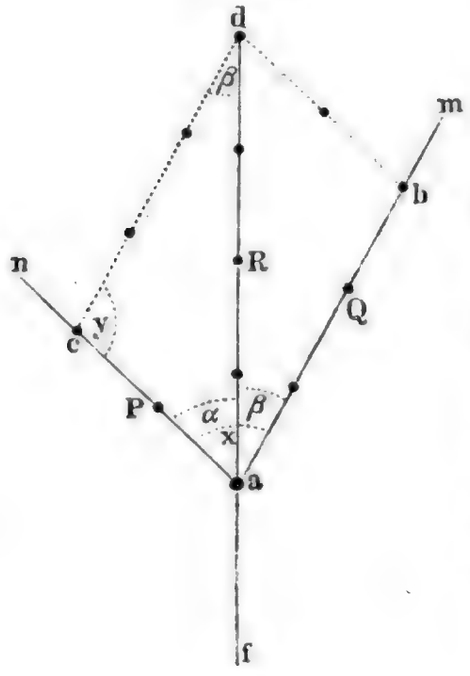
Da die Bahn, welche ein Körper in einer gegebenen Zeit durchläuft, der Kraft proportional ist, welche ihn treibt, da es sich ferner bei Bestimmung der Resultirenden nur darum handelt, ihre Richtung und ihr Größenverhältniß zu den beiden Seitenkräften zu ermitteln, so ergiebt sich folgendes Verfahren

um durch Conſtruction die Reſultirende zweier auf einen Punkt wirkenden Kräfte zu finden, deren Größe und Richtung gegeben iſt:

„Man ziehe durch den Angriffspunkt zwei gerade Linien in der Richtung der gegebenen Seitenkräfte und ſchneide auf jeder derſelben eine der entſprechenden Kraft proportionale Länge ab, ſo ſtellt die Diagonale des Parallelogramms, welches durch dieſe beiden Linien beſtimmt iſt, ſowohl der Größe als auch der Richtung nach die Reſultirende der beiden Kräfte dar.“

Nehmen wir z. B. an, daß auf einen Punkt a zwei Kräfte wirken, welche ſich verhalten wie P zu Q (z. B. wie 2 zu 3) und deren Richtungen einen Winkel x (z. B. einen Winkel von 75°) mit einander machen, ſo ziehe man durch den Punkt a, Fig. 6, zwei Linien am und an, welche den gegebenen Winkel mit einander machen, und ſchneide nach einem beliebigen Maßſtab auf der einen die Länge P, auf der anderen die Länge Q ab (für unſer Beiſpiel alſo mache man $ac = 2$ und $ab = 3$. Vollendet man nun das Parallelogramm, welches durch die unter dem Winkel x zuſammentreffenden Linien ab und ac beſtimmt iſt, ſo ſtellt die Diagonale da deſſelben der Größe und Richtung nach die geſuchte Reſultirende dar, welche wir mit R bezeichnen wollen.

Fig. 6.



In unſerem Beiſpiel ergiebt ſich $R = 4$.

Die Berechnung der Reſultirenden iſt im Supplementband beſprochen.

Bringt man in dem Punkte a eine Kraft an, welche der Reſultirenden der beiden Seitenkräfte gleich und entgegengeſetzt iſt, welche alſo von a aus in der Richtung af, Fig. 6, wirkt, ſo muß zwiſchen den beiden Seitenkräften P und Q und der nach der Richtung af wirkenden Kraft R Gleichgewicht ſtattfinden.

Man kann dies benutzen, um das Geſetz vom Parallelogramm der Kräfte einer experimentellen Prüfung zu unterwerfen, wie dies Fig. 7 angedeutet iſt. Wenn das Gewicht $P = 2$ Loth, $Q = 3$ Loth und $R = 4$ Loth iſt, ſo findet Gleichgewicht ſtatt, wenn der Winkel gok gleich 75 Grad iſt.

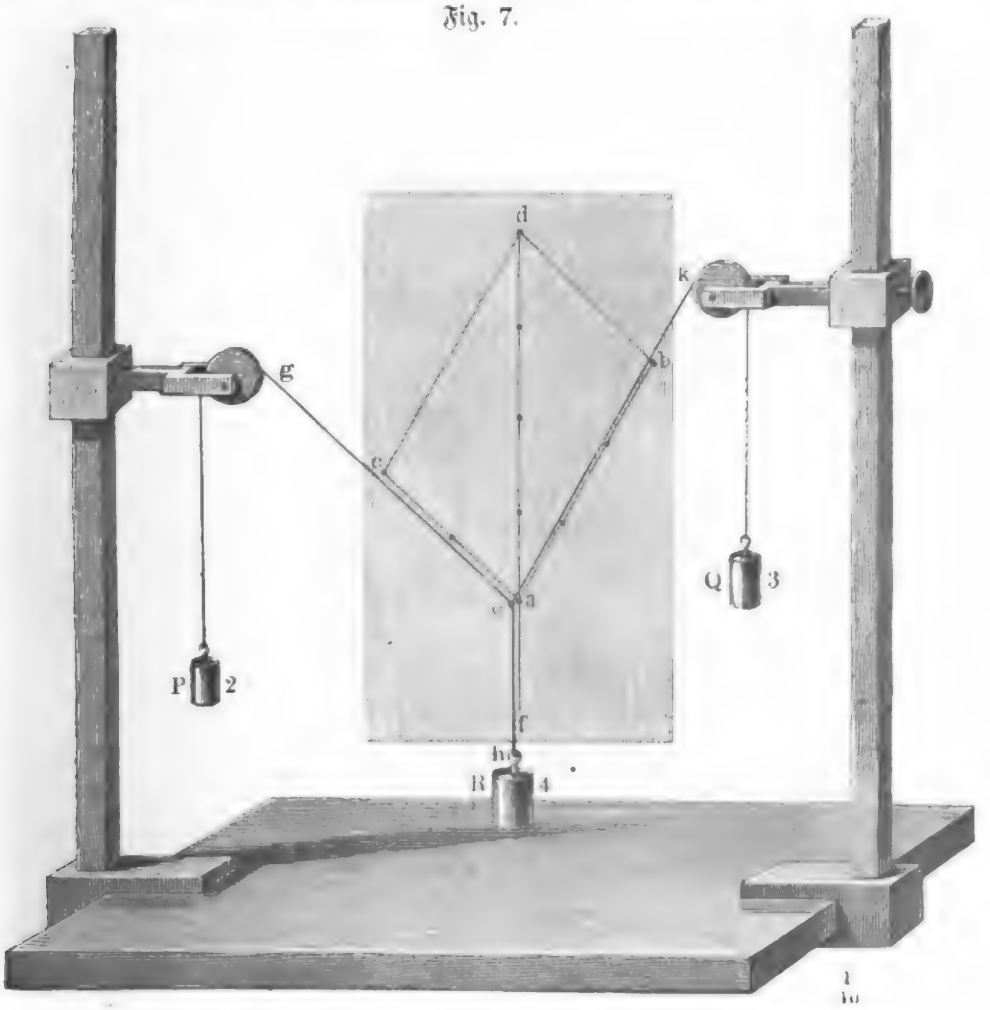
Die Reſultirende R, Fig. 6, macht mit der Seitenkraft P einen Winkel α, mit Q einen Winkel β. Es iſt aber $\alpha > \beta$, wenn $Q > P$; denn da in jedem Dreieck zur größeren Seite der größere Winkel gegenüberſteht *), ſo muß im Dreieck cda $\alpha > \beta$ ſein, wenn $cd > ca$. Die Reſultirende theilt

*) Siehe meine „Elemente der ebenen Geometrie und Stereometrie“, 2. Aufl. Braunſchweig, Friedrich Vieweg und Sohn. 1859. Seite 24.

alſo den Winkel x, welchen die beiden Seitenkräfte mit einander machen, ſo, daß derjenige Winkel der kleinere iſt, welchen ſie mit der größeren Seitenkraft macht.

Wenn die beiden Seitenkräfte gleich ſind, ſo wird der Winkel, den ſie mit einander bilden, durch die Reſultirende halbirt.

Fig. 7.



Mit Hülfe der durch Fig. 6 erläuterten Conſtruction läßt ſich leicht nachweiſen, daß die Reſultirende zweier Kräfte P und Q größer wird, wenn der Winkel abnimmt, welchen dieſe Seitenkräfte mit einander machen.

Für $x = 0$ wird: $R = P + Q$.

Für $x = 180$ wird: $R = Q - P$,

alſo $R = 0$, wenn $P = Q$. Bei Gleichheit der Seitenkräfte P und Q wird die Reſultirende R verhältnißmäßig ſehr klein, wenn der Winkel x ein wenig von 180^0 abweicht (das Knie, Supplementband S. 10).

Da man die Reſultirende zweier Kräfte, die auf einen Punkt wirken, finden kann, ſo findet man auch leicht die Reſultirende einer beliebigen Anzahl von Kräften; man ſucht nämlich nur die Reſultirende der beiden erſten Kräfte,

alsdann ſucht man die Reſultirende der eben gefundenen mit der dritten Kraft, verbindet dieſe Reſultirende wieder mit der vierten Kraft u. ſ. w.

Weil zwei Kräfte durch eine einzige erſetzt werden können, ſo kann man umgekehrt für eine Kraft auch zwei andere ſubſtituiren. Man ſieht ferner auch leicht ein, daß unzählig viele verſchiedene Syſteme zweier Kräfte dieſelbe Reſultirende haben können, daß alſo auch umgekehrt eine Kraft auf unzählig viele verſchiedene Arten durch ein Syſtem von zwei Kräften erſetzt werden kann. Die Aufgabe iſt erſt beſtimmt, wenn die Größe beider Seitenkräfte, oder die Richtung derſelben, oder endlich die Größe und Richtung der einen gegeben iſt; denn in allen dieſen Fällen ſind die nöthigen Beſtimmungsſtücke zur Conſtruction des Parallelogramms gegeben.

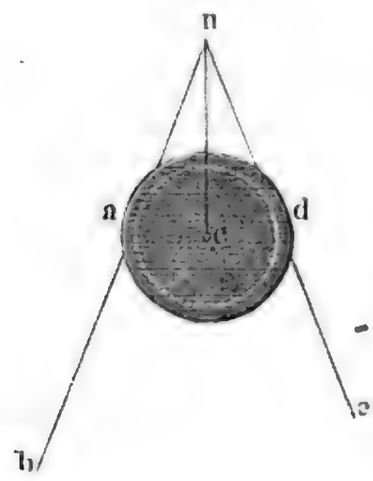
Aus dem Satze vom Parallelogramm der Kräfte laſſen ſich die Geſetze des Gleichgewichts an allen ſogenannten einfachen Maſchinen ableiten, die wir jetzt der Reihe nach betrachten wollen.

17 **Die Rolle** iſt eine runde, nicht gar dicke, am Rande ausgehöhlte Scheibe, welche um eine durch ihren Mittelpunkt gehende, auf ihrer Ebene rechtwinklig ſtehende Axe drehbar iſt; dieſe Axe iſt gewöhnlich durch eine Scheere getragen, deren Arme zu beiden Seiten der Rolle bis etwas über ihre Mitte reichen, wie man dies Fig. 9 und Fig. 10 auf Seite 21 ſieht.

Man unterſcheidet feſte und bewegliche Rollen. Feſte Rollen ſind ſolche, deren Axe unbeweglich iſt wie Fig. 9, ſo daß keine Verrückung derſelben, ſondern nur eine Drehung um dieſelbe möglich iſt.

Wenn um einen Theil des Umfangs einer feſten Rolle eine Schnur oder ein Seil gelegt iſt, und an beiden Enden deſſelben Kräfte wirken, ſo findet nur dann Gleichgewicht Statt, wenn die Kraft, welche das Seil auf der einen Seite ſpannt, der auf der anderen Seite wirkenden Kraft gleich iſt. Es läßt ſich dies leicht von vornherein einſehen, wenn man bedenkt, daß die beiden Kräfte unter ſonſt ganz gleichen Umſtänden die Rolle nach entgegengeſetzten Richtungen zu drehen ſtreben: man konnte deshalb auch oben Seite 19 ſchon die Rolle in Anwendung bringen, ohne daß es nöthig geweſen wäre, eine Betrachtung über das Gleichgewicht der Kräfte an der Rolle vorauszuſchicken. Uebrigens läßt ſich das Gleichgewicht der Kräfte an der Rolle auch vom Parallelogramm der Kräfte ableiten, und von dieſem Geſichtspunkte aus wollen wir die Rolle hier näher betrachten. Fig. 8 ſtellt eine um ihren feſten Mittelpunkt c drehbare Rolle vor; das um dieſelbe geſchlungene Seil ſei durch Kräfte geſpannt, welche nach den Richtungen ab und de wirken. Denken wir uns die Linien de und ab bis zu ihrem Durchſchnittspunkte verlängert, ſo iſt klar, daß, wenn n ein mit der Rolle feſt verbundener Punkt wäre, man, ohne in der Wirkung etwas zu ändern, die Angriffspunkte der beiden Kräfte von a und d nach n verlegen könnte, und ſo

Fig. 8.



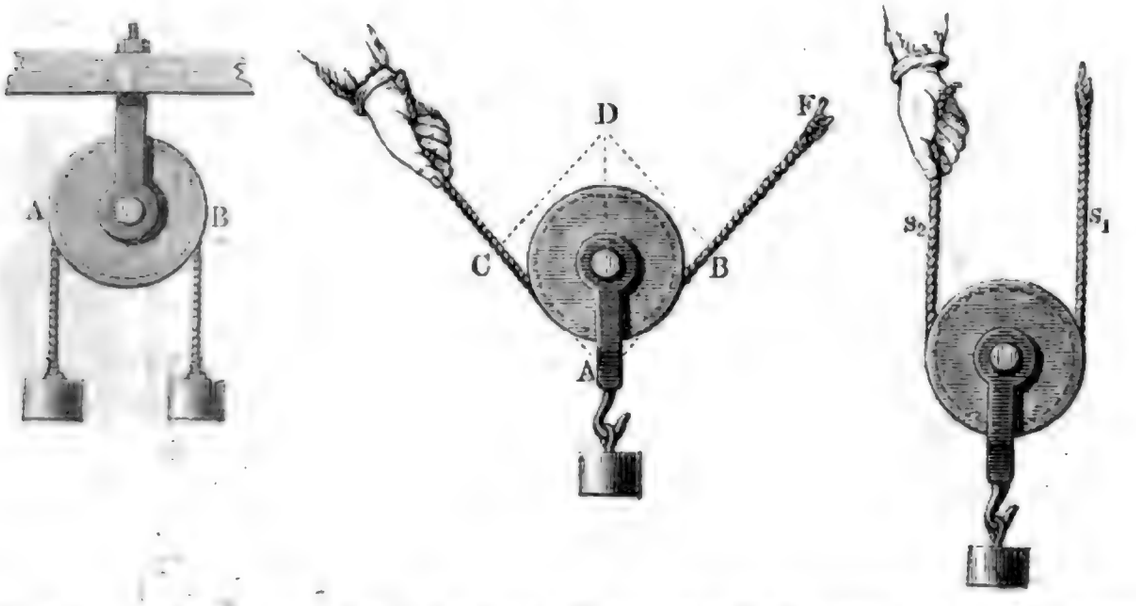
hätte man dann zwei in einem Punkte n angreifende Kräfte, die nur dann im Gleichgewicht sein können, wenn ihrer Resultirenden das Gleichgewicht gehalten wird. Wenn die beiden in n angreifenden, nach den Richtungen nb und ne wirkenden Kräfte gleich sind, so wird ihre Resultirende den Winkel bne halbiren, die Richtung dieser Resultirenden geht alsdann durch den festen Mittelpunkt c, und mithin findet Gleichgewicht Statt. Wäre eine der beiden Kräfte größer als die andere, so würde die Resultirende nicht mehr durch diesen festen Punkt gehen, es könnte also auch kein Gleichgewicht mehr stattfinden.

Der Druck, den die Axe der Rolle auszuhalten hat, ist offenbar der Resultirenden der beiden Kräfte gleich, und wenn die Richtungen der beiden Kräfte parallel sind, wie Fig. 9, so ist der Druck auf die Axe gleich der Summe der beiden Kräfte (wozu noch das Gewicht der Rolle selbst zu rechnen ist).

Auch an einer beweglichen Rolle kann nur dann Gleichgewicht stattfinden, wenn die Kräfte, welche die beiden Enden des Seils spannen, einander gleich sind, denn nur in diesem Falle geht ihre Resultirende durch den Mittelpunkt der Scheibe; die Wirkung dieser Resultirenden wird aber hier nicht dadurch aufgehoben, daß der Mittelpunkt der Rolle fest ist, sondern dadurch, daß in diesem Mittelpunkte eine dritte Kraft wirkt, welche dieser Resultirenden gleich und entgegengesetzt ist. Diese dritte Kraft ist gewöhnlich an einem an der Scheere befestigten Haken angebracht; in Fig. 10 ist sie durch das Gewicht dargestellt.

Wenn die beiden Enden des um die bewegliche Rolle geschlungenen Seils einander parallel sind, wie Fig. 11, so ist klar, daß die Kraft, mit welcher jedes

Fig. 9. Fig. 10. Fig. 11.



Seilende gespannt wird, halb so groß ist als die Last, welche an der Scheere hängt.

Wenn zwei oder mehrere Rollen in einem Gehäuse sich befinden, wenn sie also gleichsam eine gemeinschaftliche Scheere haben, so nennt man eine solche Zusammensetzung eine Flasche. Wenn zwei Flaschen, von denen die eine fest,

die andere beweglich iſt, durch ein Seil ſo verbunden werden, daß es abwechſelnd von einer feſten auf eine bewegliche Rolle geht, ſo erhält man einen Flaſchenzug.

Fig. 13.

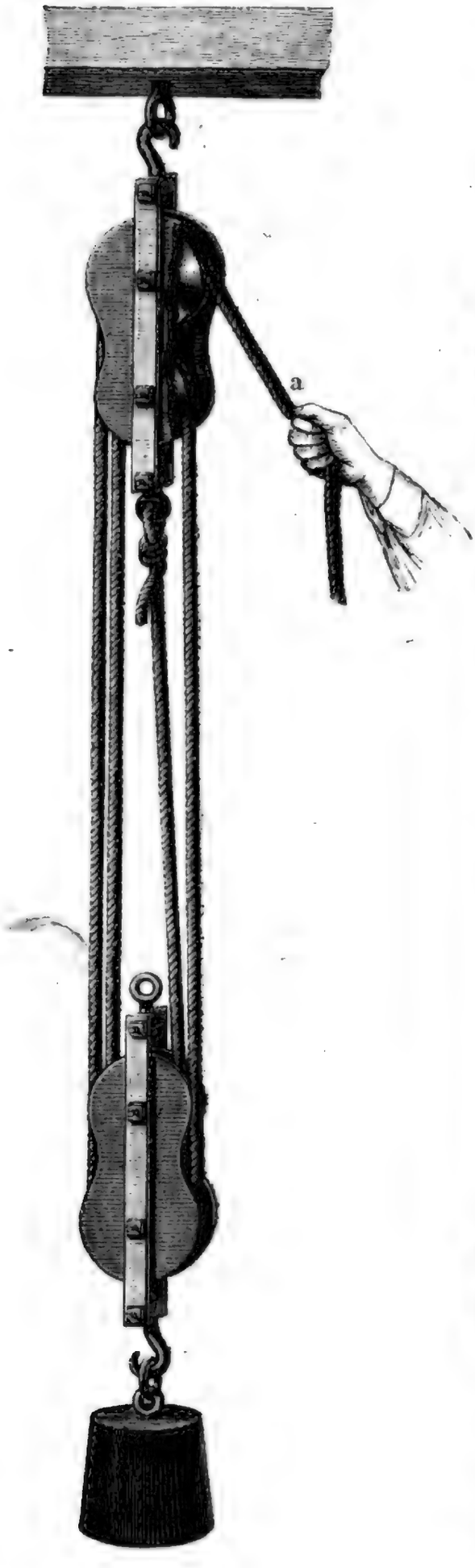


Fig. 13a.

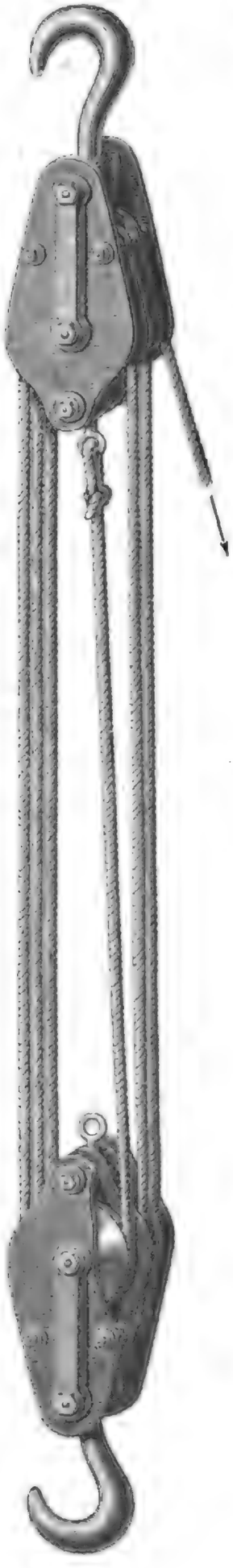
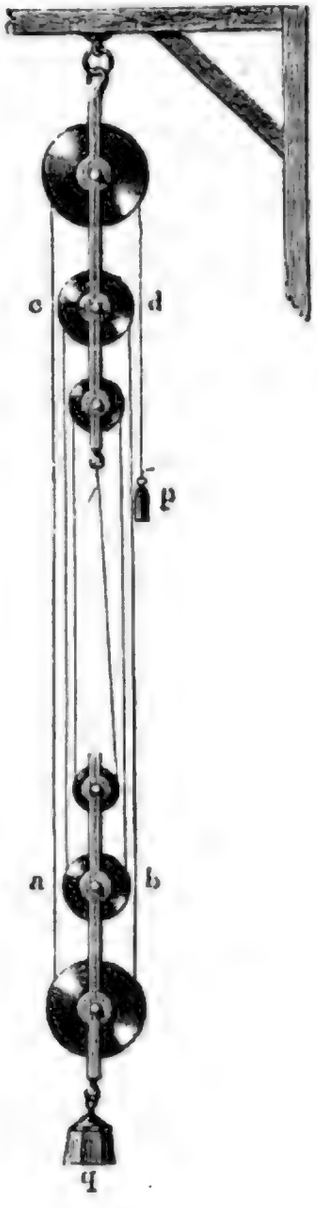


Fig. 12 ſtellt das Modell eines Flaſchenzuges dar, welcher aus drei feſten und drei beweglichen Rollen beſteht. Die Laſt q, welche an der gemeinſchaftlichen

Fig. 12.



Scheere der drei beweglichen Rollen hängt, wird offenbar durch die sechs Seile getragen, welche die oberen und unteren Rollen mit einander verbinden, die Last vertheilt sich also gleichmäßig auf sechs Seile, und folglich ist jedes durch $^1/_6$ der Last q gespannt; wäre z. B. eine Last von 60 Loth angehängt, so würde jedes der sechs Seile gerade so stark gespannt sein, als ob es für sich allein eine Last von 10 Loth zu tragen hätte.

Betrachten wir nun das Seilstück, welches über die oberste feste Rolle geschlungen ist und welches auf der rechten Seite derselben frei herunterhängt. Soll Gleichgewicht stattfinden, so muß das Seilstück auf der linken und auf der rechten Seite der obersten Rolle gleich stark gespannt sein; das Seilstück links ist aber, wie wir gesehen haben, durch $^1/_6$ q gespannt; folglich muß man, um das Gleichgewicht zu erhalten, an das Ende des Seils d außer einem Gegengewicht für die bewegliche Flasche ein Gewicht p anhängen, welches gleich $^1/_6$ q ist. Einer Last von 60 Pfund kann man also an unserem Flaschenzuge mit einer Kraft von 10 Pfund das Gleichgewicht halten.

Fig. 13 und Fig. 13 a sind zwei Flaschenzüge, wie sie wirklich in der Praxis angewendet werden. Fig. 13 ist ganz nach dem System des Modells Fig. 12 construirt; bei dem Flaschenzuge Fig. 13 a sind alle Rollen gleich groß und die zu einer Flasche vereinigten Rollen sind auf einer Axe nebeneinander gestellt.

Das Verhältniß zwischen Kraft und Last am Flaschenzuge ist ganz allgemein ausgedrückt durch die Gleichung:

$$P = \frac{Q}{n},$$

in welcher P die Kraft, Q die Last und n die Zahl der Rollen, also auch die Zahl der Seile bezeichnet, an welchen die Last hängt.

Der Hebel. Um eine Rolle, Fig. 14 (a. f. S.), sei eine Schnur geschlun- 18
gen, und an das eine Ende derselben ein Gewicht p gehängt, während auf der anderen Seite die Schnur in der Richtung ab mit einer dem Gewichte p gleichen Kraft gespannt ist. Nun aber kann man die in a angreifende, in der Richtung ab wirkende Kraft nach der Lehre vom Parallelogramm der Kräfte in zwei Seitenkräfte zerlegen, von denen die eine in der Richtung von a nach d, also in der Verlängerung des Halbmessers ma, wirkt, während die Richtung af der anderen Seitenkraft parallel mit gp ist.

Wenn die Rolle eine feste ist, wie wir hier voraussetzen, so wird die Wirkung der Kraft ad durch den Widerstand des festen Mittelpunktes m aufgehoben; man kann demnach die nach ad wirkende Seitenkraft ganz weglassen, ohne das Gleichgewicht zu stören, man kann also ohne Weiteres die nach ab wirkende Kraft durch ihre nach af wirkende Seitenkraft ersetzen.

Stellen wir durch die Linie ac die nach ab wirkende Kraft p dar, so ist die Linie af die Größe der Seitenkraft P, und ohne vor der Hand das Größenverhältniß zwischen ac und af oder p und P genauer zu ermitteln, sieht man doch leicht ein, daß P größer sein muß als p. Wir können also die in der

Richtung ab wirkende Kraft p durch eine andere ebenfalls in a angreifende, aber in verticaler Richtung wirkende größere Kraft P erſetzen, ohne das Gleichgewicht zu ſtören.

Anſtatt die Kraft P in a angreifen zu laſſen, kann man, ohne das Gleichgewicht zu ſtören, ihren Angriffspunkt in jeden beliebigen Punkt der Linie af verlegen; wir können alſo auch die Kraft P im Punkte h angreifen laſſen, welcher auf dem Durchſchnitte der Linie af mit der Verlängerung des Halbmeſſers gm liegt, und ſomit haben wir zwei an den Enden einer um m, Fig. 15, drehbaren geraden Linie hg wirkende, rechtwinklig zu hg angreifende Kräfte, p und P, welche ſich das Gleichgewicht halten. Dieſe beiden Kräfte ſind ungleich, ihre Angriffspunkte h und g liegen aber auch in ungleichen Entfernungen vom Drehpunkte m.

Fig. 14.

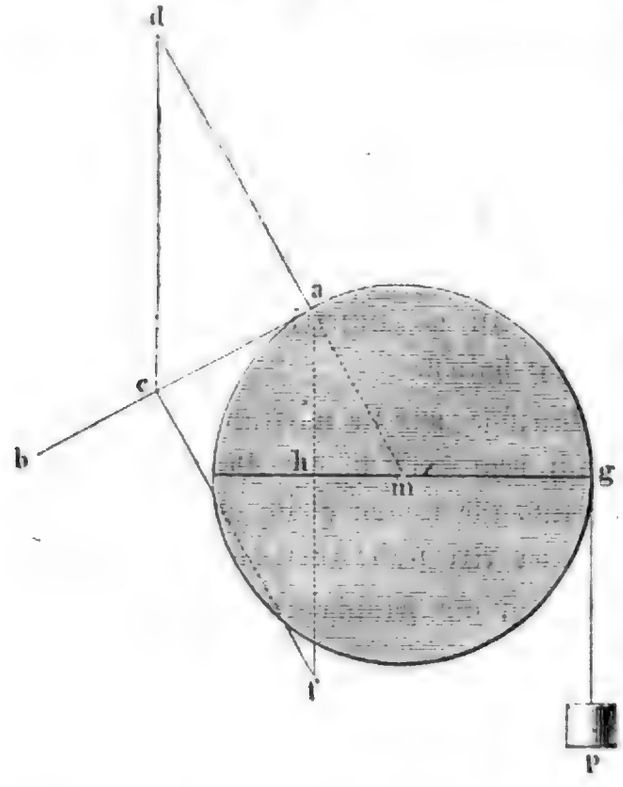
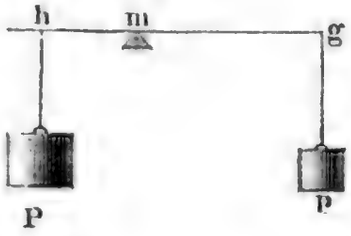


Fig. 15.



Es iſt jetzt zu ermitteln, welches Verhältniß zwiſchen den Größen der Kräfte p und P und den Längen hm und gm beſteht.

Die Dreiecke caf und ahm, Fig. 14, ſind einander ähnlich und daraus folgt:

$$ac : af = hm : am.$$

Nun aber verhalten ſich ja die Längen ac und af wie die Kräfte p und P, wir haben alſo:

$$p : P = hm : am,$$

und da $am = gm$:

$$p : P = hm : gm,$$

oder

$$p : P = L : l \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

wenn wir die Länge $hm = L$ und $gm = l$ ſetzen. Das heißt mit Worten, die Kräfte P und p verhalten ſich umgekehrt wie die Entfernungen ihrer Angriffspunkte vom Drehpunkte m.

Eine gerade unbiegſame Linie, welche um einen feſten Punkt drehbar iſt, wird ein Hebel genannt. Wenn nun in zwei verſchiedenen Punkten eines Hebels rechtwinklig zu ſeiner Richtung zwei Kräfte angreifen, die ihn nach ent-

gegengesetzten Richtungen zu drehen streben, so findet Gleichgewicht zwischen ihnen Statt, wenn die eben ausgesprochene Bedingung erfüllt ist. Die Entfernung des Angriffspunktes einer Kraft von dem Drehpunkte (dem Hypomochlion) wird der Hebelarm der Kraft genannt; wir können demnach die Bedingung des Gleichgewichts am Hebel auch so ausdrücken: Zwei Kräfte, welche den Hebel nach entgegengesetzten Seiten zu drehen streben, halten sich das Gleichgewicht, wenn sie den entsprechenden Hebelarmen umgekehrt proportional sind.

Wäre z. B. der Hebelarm hm in Fig. 15 halb so groß als gm, so müßte P doppelt so groß sein als p. Eine Kraft p kann an einem Hebel einer 100fachen Last P das Gleichgewicht halten, wenn nur der Hebelarm mg auch 100mal so groß ist als der Hebelarm hm.

Aus der Proportion bei 1) folgt $PL = pl$, d. h. wenn sich zwei Kräfte an einem Hebel das Gleichgewicht halten sollen, so muß das Product, welches man erhält, wenn man jede Kraft mit ihrem Hebelarme multiplicirt, für die beiden Kräfte gleich sein.

Das Product, welches man erhält, wenn man die an einem Hebel wirkende Kraft mit ihrem Hebelarm multiplicirt, wird das statische Moment der Kraft genannt. Man könnte auch sagen, das statische Moment einer Kraft ist diejenige Kraft, welche man statt ihrer an den Hebelarm 1 anbringen muß, wenn durch diese Vertauschung der Gleichgewichtszustand nicht gestört werden soll.

In Fig. 16 sei die Kraft rechts $= 6$, ihr Hebelarm $= 5$, so ist das statische Moment dieser Kraft gleich $5 \times 6 = 30$; soll ihr die Kraft links das Gleichgewicht halten, so muß das statische Moment beider gleich sein; die an dem Hebelarme 3 auf der linken Seite wirkende Kraft muß also den Werth 10 haben. Anstatt die Kraft 6 an dem Hebelarme 5 wirken zu lassen, könnte man aber, ohne das Gleichgewicht zu stören, die Kraft 30 im Punkte n, also an dem Hebelarme 1 anbringen.

Fig. 16.

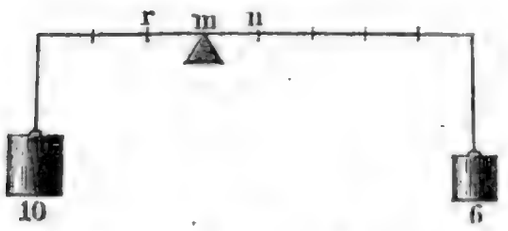
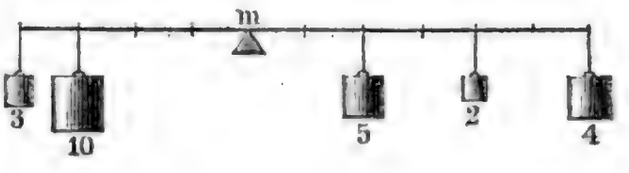


Fig. 17.



Wenn auf jeder Seite des Drehpunktes nicht eine, sondern mehrere Kräfte wirken, so findet Gleichgewicht Statt, wenn die Summe der statischen Momente auf der einen Seite gleich ist der Summe der statischen Momente auf der anderen, wie dies bei dem Fig. 17 dargestellten Beispiele der Fall ist, wo die Summe der statischen Momente auf der rechten Seite $5 . 2 + 2 . 4 + 4 . 6 = 42$, für die linke Seite aber $10 . 3 + 3 . 4$, also ebenfalls 42 ist.

Fig. 18 (a. f. S.) erläutert eine allgemein verbreitete Art der Anwendung des zweiarmigen Hebels. Ein anderes Beispiel liefert uns die gewöhnliche Schnell-

wage, Fig. 19. Ein zweiarmiger Hebel ist bei C drehbar, bei A ist die Last P angehängt, die also an dem Hebelarme AC wirkt; dieser Last nun wird durch ein am anderen Arme des Hebels angehängtes Laufgewicht das Gleichgewicht gehalten. Je größer die Last wird, desto mehr muß man das Laufgewicht Q vom Drehpunkte C entfernen.

Fig. 18.

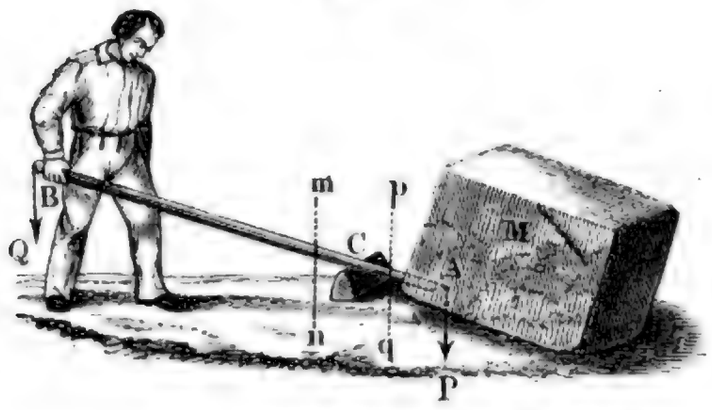
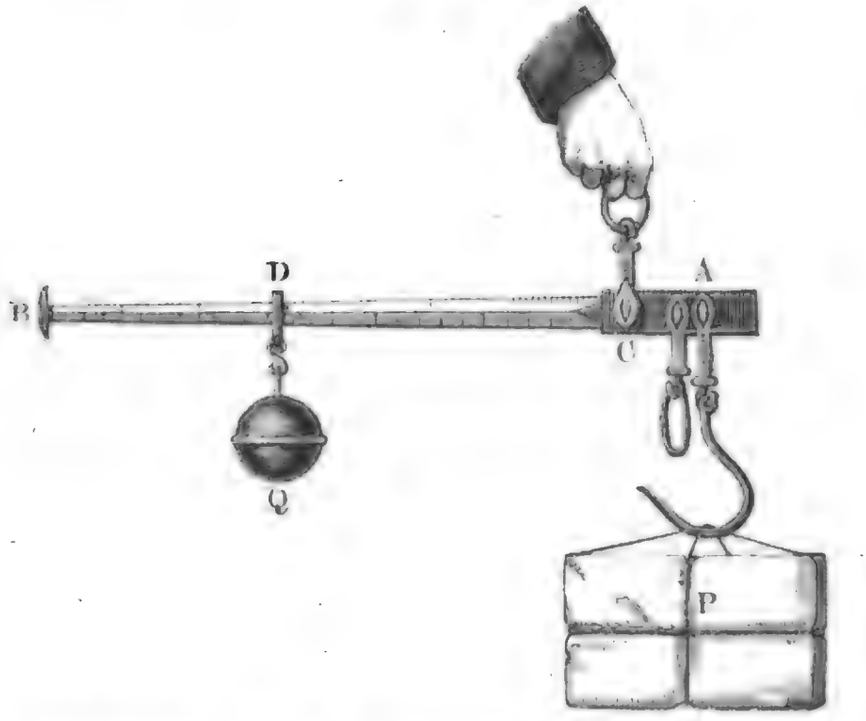


Fig. 19.

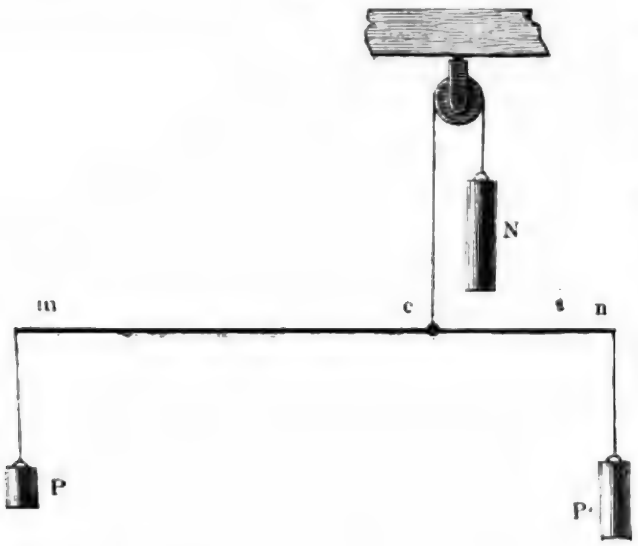


19 **Der einarmige Hebel.** An einem solchen Hebel, wie wir ihn bisher betrachtet haben, hat der feste Drehpunkt einen Druck auszuhalten, welcher der Summe der an beiden Seiten wirkenden Kräfte gleich ist; ein solcher Hebel kann aber auch im Gleichgewichte sein, wenn dieser mittlere Punkt nicht fest ist, sondern wenn in ihm eine Kraft wirkt, welche der Summe der beiden anderen gleich ist, und in entgegengesetzter Richtung wirkt. Die Fig. 20 mag dies erläutern. Nehmen wir an, c sei der Drehpunkt eines Hebels mn, an dessen Enden die Kräfte P und P' angreifen und sich einander das Gleichgewicht halten. Dieses Gleichgewicht wird nun nicht gestört, wenn der Punkt c aufhört fest zu sein, wenn in ihm aber eine Kraft N angebracht wird, welche der Summe von P und P' gleich ist, die aber nach oben wirkt, während die Kräfte P und P' nach unten ziehen.

Ohne das Gleichgewicht zu stören, kann man nun wieder jeden der drei Punkte m, c und n als fest betrachten; wenn nun einer der beiden äußeren Punkte, etwa n, fest ist, so haben wir einen einarmigen Hebel, d. h. einen

ſolchen, bei welchem die Angriffspunkte der beiden ſich das Gleichgewicht haltenden Kräfte N und P auf derſelben Seite des feſten Drehpunktes n liegen. Die beiden Kräfte haben in dieſem Falle entgegengeſetzte Richtung, und der Druck auf den Unterſtützungspunkt iſt dem Unterſchiede der beiden Kräfte P und N gleich. Der Hebelarm der Kraft P iſt $l + l'$, wenn man mit l die Länge mc, mit l' die Länge nc bezeichnet; der Hebelarm der Kraft N iſt aber l'. Wäre c der feſte Drehpunkt geweſen, ſo hätte man nach dem Obigen als Bedingung des Gleichgewichts:

Fig. 20.



$$P' : P = l : l',$$

und daraus folgt:

$$P' + P : P = l + l' : l'$$

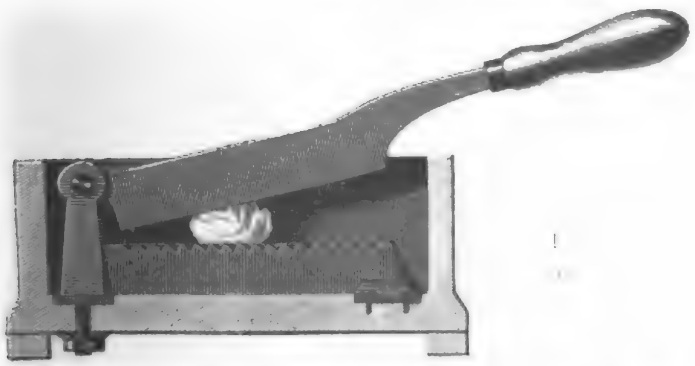
oder

$$N : P = l + l' : l';$$

wenn alſo die an dem einarmigen Hebel in entgegengeſetzten Richtungen wirkenden Kräfte N und P ſich das Gleichgewicht halten ſollen, ſo müſſen ſie ſich ebenfalls umgekehrt verhalten wie ihre Hebelarme.

Die Figuren 21 und 22 (a. f. S.) zeigen zwei bekannte Formen der Anwendung des einarmigen Hebels, welche wohl keiner weiteren Erläuterung bedürfen.

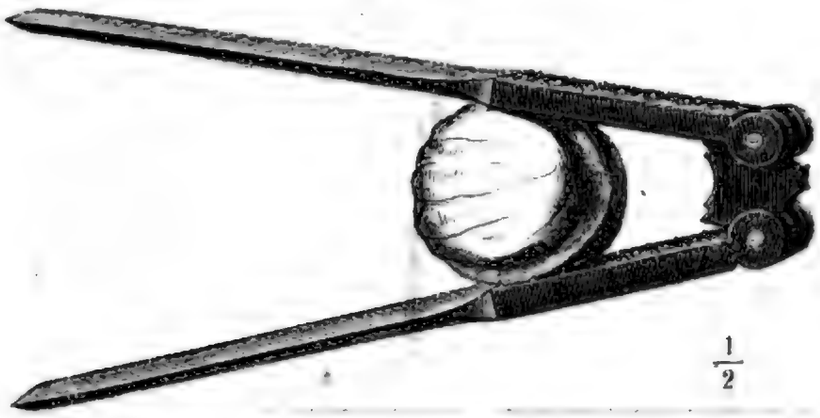
Fig. 21.



Auch die beiden Endpunkte m und n, Fig. 20, der Stange mn können feſt ſein, während in c eine Kraft N wirkt; alsdann aber hat der Punkt m einen Druck P, der Punkt n einen Druck P' auszuhalten. Wenn eine auf einer Tragbahre liegende Laſt durch zwei Leute getragen wird, ſo vertheilt ſich

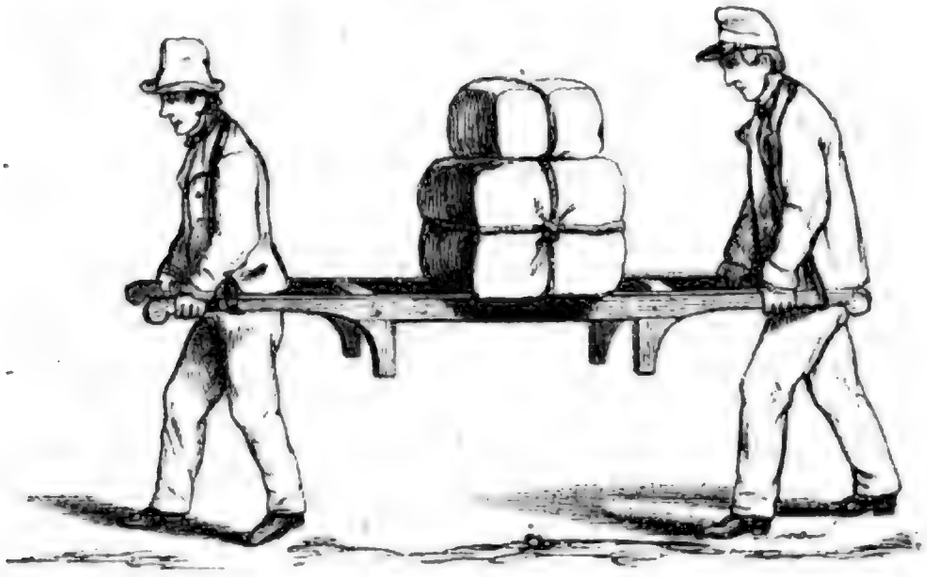
die Laſt auf die beiden Träger, und wenn ſie gerade in der Mitte der Bahre liegt, ſo kommt auf jeden die Hälfte der Laſt; wird aber die Laſt dem einen

Fig. 22.



Träger näher gerückt, wie Fig. 23 andeutet, ſo hat dieſer einen größeren Theil zu tragen. Geſetzt, die aufgelegte Laſt betrage 100 Pfund, die ganze Bahre

Fig. 23.

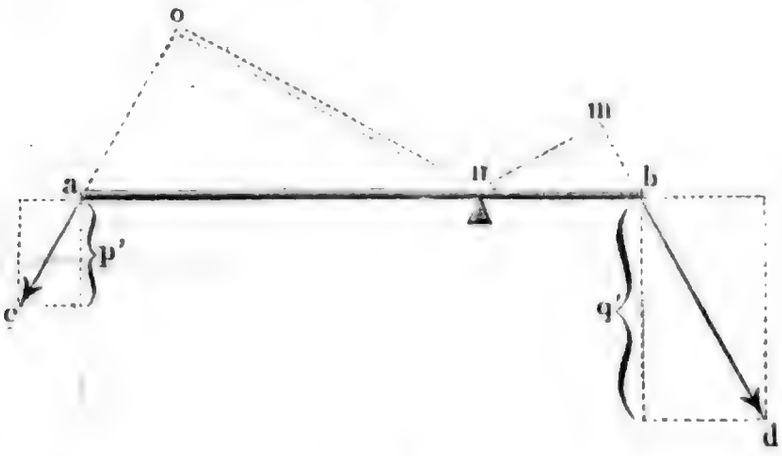


ſei 5 Fuß lang und der Schwerpunkt der Laſt liege 2 Fuß von dem einen, 3 Fuß von dem anderen Ende, ſo hat der eine Träger einen Druck von 60 Pfund, der andere einen Druck von 40 Pfund auszuhalten.

20 **Gleichgewicht am Hebel bei ſchiefwinklig angreifenden Kräften.** Wir haben bisher nur den Fall betrachtet, wo die Kräfte rechtwinklig gegen den Hebel wirkten; es kann aber auch Gleichgewicht ſtattfinden, wo dies nicht der Fall iſt. In Fig. 24 ſei n der Stützpunkt des Hebels ab, in a wirke eine Kraft p nach der Richtung ac, in b eine andere, q, nach der Richtung bd. Die Kräfte p und q ſollen ſich verhalten wie die Linien ac und bd. Nach dem Satze vom Parallelogramm der Kräfte läßt ſich p in zwei Kräfte zerlegen, von denen die eine, p', rechtwinklig auf ab, die andere in der Richtung von ab wirkt. Ebenſo kann man die Kraft q in zwei Kräfte zerlegen, von denen die eine, q', rechtwinklig auf ab und die andere in der Rich-

tung dieser Linie wirkt. Die Wirkung der beiden Seitenkräfte, welche in die Richtung der Linie ab fallen, wird offenbar durch den Widerstand des festen

Fig. 24.



Punktes n völlig aufgehoben, und somit bleibt nur die Wirkung der Kräfte p' und q' übrig. Statt der ursprünglichen Kräfte p und q kann man also ohne Weiteres ihre rechtwinklig angreifenden Seitenkräfte p' und q' setzen. Gleichgewicht wird aber stattfinden müssen, wenn sich p' und q' umgekehrt verhalten wie ihre Hebelarme, d. h. wenn

$$p' : q' = nb : na,$$

oder wenn

$$q' \times nb = p' \times na.$$

Verlängert man die Richtung der Kraft p, um auf ihre Verlängerung von n das Perpendikel $no = l$ zu fällen, so entsteht ein Dreieck aon, welches demjenigen ähnlich ist, dessen Hypotenuse p und dessen eine Kathete p' ist. Aus der Aehnlichkeit dieser Dreiecke folgt:

$$p : p' = an : l,$$

und daraus:

$$p \times l = p' \times an.$$

Die an den Hebelarm an schief angreifende Kraft p wirkt also gerade so wie ihre in demselben Punkte a angreifende Seitenkraft p', und auch so, als ob die Kraft p selbst rechtwinklig an einem kleineren Hebelarme wirkte, welchen man findet, wenn man vom Drehpunkte n ein Perpendikel auf die Richtung der Kraft fällt.

Das statische Moment einer schräg angreifenden Kraft findet man also, indem man die Kraft multiplicirt mit dem vom Drehpunkte auf die Richtung der Kraft gefällten Perpendikel.

Demnach wirkt auch die schief angreifende Kraft q gerade so, als ob sie rechtwinklig an den Hebelarm nm angriffe, und die beiden Kräfte p und q halten sich das Gleichgewicht, wenn $p \times on = q \times nm$.

Auf die eben entwickelte Weise findet man auch die Momente der Kräfte, wenn der Hebel nicht mehr eine gerade Linie ist, wie Fig. 25 (a. f. S.).

Wenn zwei parallele rechtwinklig angreifende Kräfte an einem Hebel einander das Gleichgewicht halten, so wird das Gleichgewicht nicht gestört, wenn

man ſie in gleichem Verhältniß vergrößert oder verkleinert. Ebenſo wenig wird das Gleichgewicht geſtört, wenn beide Kräfte ihre Richtung ſo ändern, daß ſie unter ſich parallel bleiben. Wenn z. B. die Kräfte $ab = p$ und $cd = q$ an dem Hebel ac, Fig. 26, ſich das Gleichgewicht halten, ſo beſteht daſſelbe auch

Fig. 25.

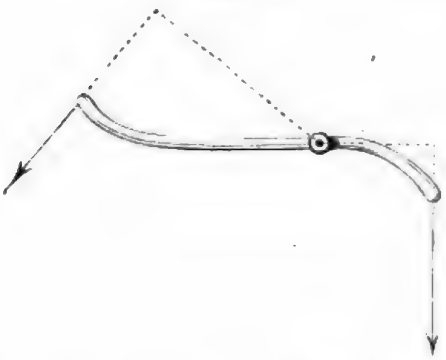
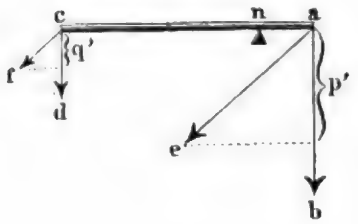


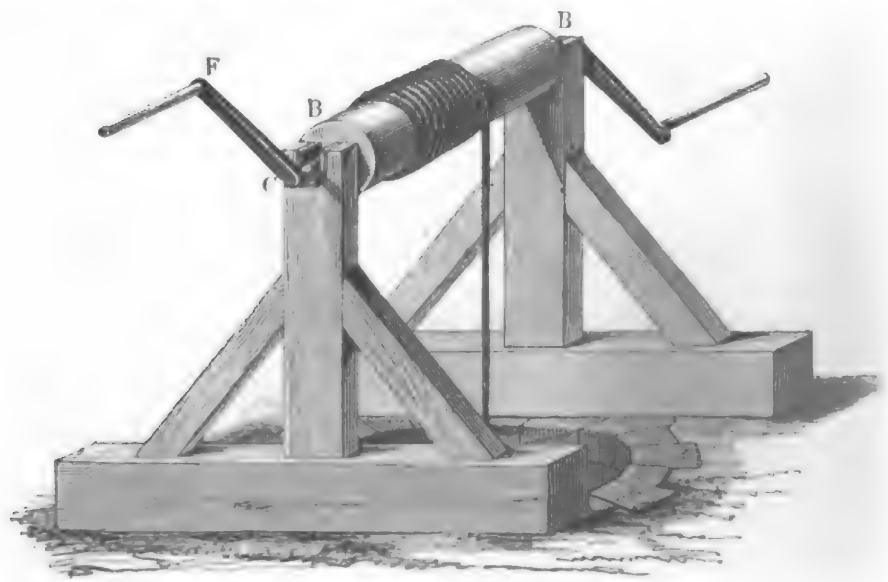
Fig. 26.



noch, wenn man dieſelben Kräfte nach den einander parallelen Richtungen ae und cf wirken läßt; denn die ſchräg wirkende Kraft p wirkt wie ihre rechtwinklige Compoſante p' und die ſchräg wirkende q wie die rechtwinklig angreifende Seitenkraft q'; p' und q' halten ſich aber gewiß das Gleichgewicht, wenn es zwiſchen den Kräften p und q beſtand, da $p : p' = q : q'$ iſt.

21 **Haspel und Räderwerke.** Wenn irgend ein feſter Körper um eine feſte Axe drehbar iſt, ſo wirken die Kräfte, welche ihn um dieſe Axe zu drehen ſtreben, ganz nach den Geſetzen des Hebels. Deshalb finden dieſe Geſetze bei den vielen Maſchinen eine Anwendung, welche ſich in ein mehr oder weniger complicirtes Syſtem von Hebeln zerlegen laſſen. Beim Haspel z. B., Fig. 27,

Fig. 27.



verhält ſich die Kraft P, welche am Hebelarme CF angreift, zu der Laſt Q, welche an dem um die Welle BB geſchlungenen Seile hängt, wie der Radius r des Wellbaums zur Länge R des Hebelarms CF, d. h. es iſt:

$$P : Q = r : R,$$

alſo

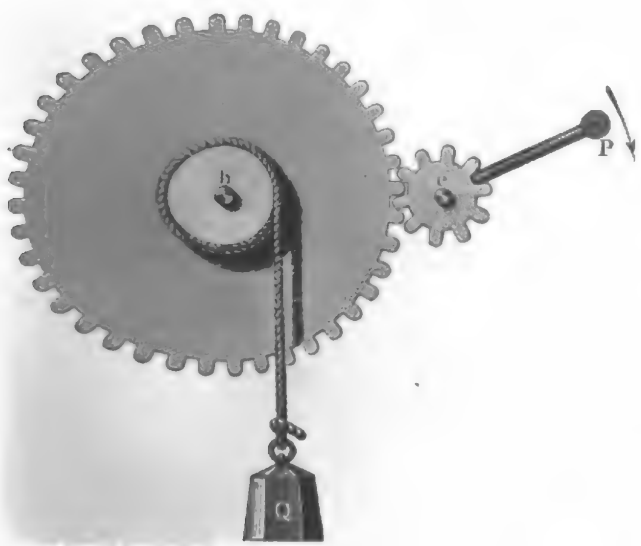
$$P = \frac{r}{R} Q \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 1)$$

Wenn, wie es bei ſolchen Haspeln nahezu immer der Fall iſt, $R = 4\,r$, ſo haben wir alſo $P = {}^1/_4\,Q$. Mit einer Kraft von 25 Pfund an der Kurbel angreifend, kann man alſo eine Laſt von 100 Pfund heben.

Das Verhältniß zwiſchen der an der Maſchine angreifenden Kraft und der Laſt, welche man mit derſelben heben kann, wird häufig auch mit dem Namen der Ueberſetzung bezeichnet. Die Ueberſetzung am Haspel ließe ſich nun dadurch ſteigern, daß man einerſeits den Radius r des Wellbaums verkleinerte oder andererſeits den Hebelarm CF vergrößerte. In der Praxis aber darf man r nicht zu ſehr verkleinern, weil dadurch die Tragkraft der Welle vermindert wird, und eine Vergrößerung von R über gewiſſe Gränzen hinaus iſt wegen der Körperdimenſionen des Arbeiters unmöglich.

Um eine ſtärkere Ueberſetzung zu erhalten als man ſie mit dem einfachen Haspel erreichen kann, werden zuſammengeſetzte Räderwerke angewandt, d. h. ſtatt die Laſt direct an der Welle anzubringen, welche auf der unmittelbar durch die Kraft P umgedrehten Axe befeſtigt iſt, überträgt man die Bewegung dieſer Welle auf den Umfang eines größeren Rades, an deſſen Welle erſt die Laſt hängt.

Fig. 28.



Die Uebertragung der Bewegung von einer Welle auf ein Rad geſchieht entweder meiſt durch Zähne, unter Umſtänden aber auch durch Riemen oder Seile.

In dem Fig. 28 dargeſtellten Räderwerk wird die Uebertragung der Bewegung von einer Axe auf eine andere durch Zahnräder vermittelt.

Um die an der Welle b hängende Laſt Q zu heben, muß an dem Umfang des auf derſelben Axe ſitzenden gezahnten Rades a eine Kraft K angebracht werden, deren Werth

$$K = \frac{r}{R} Q \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2)$$

iſt, wenn r der Radius des Wellbaums b, R aber der Radius des gezahnten Rades a iſt.

Die Umdrehung des Rades a wird aber durch die Umdrehung des Triebes c bewirkt, deſſen Zähne in die Zähne des Rades a eingreifen. Wenn aber die Zähne des Triebes c mit einer Kraft K gegen die Zähne des Rades a drücken ſollen, ſo muß die Kraft P, welche am Ende des mit c auf einer Axe ſitzenden Hebelarms wirkt, ſein:

$$P = \frac{r'}{R'} K \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 3)$$

wenn r' den Radius des Triebes c, R' aber die Länge des Hebelarmes bezeichnet, an deſſen Ende P wirkt.

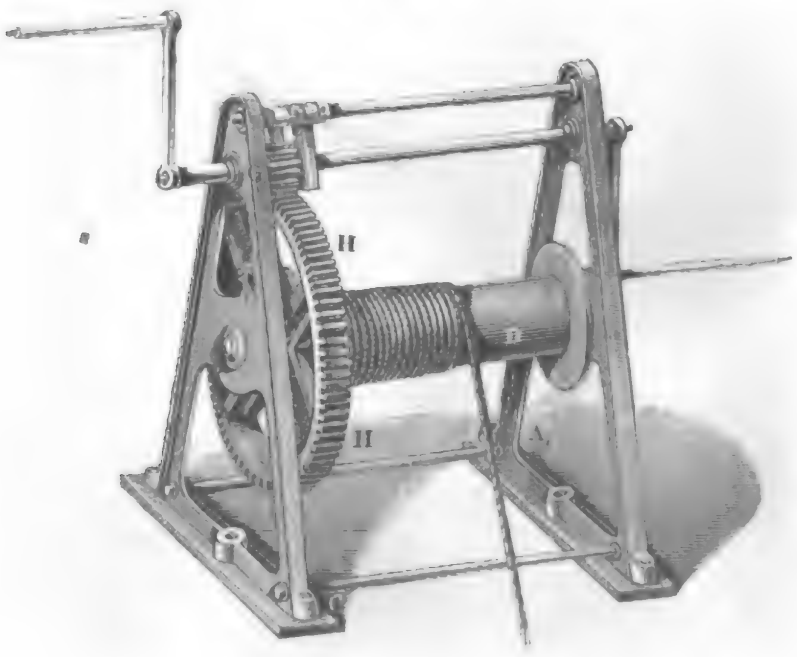
Setzt man den Werth von K aus 2) in 3), ſo kommt:

$$P = \frac{r}{R} \cdot \frac{r'}{R'} Q.$$

Der Radius des Triebes c verhält ſich zum Radius des Rades a wie der Umfang des Triebes zum Umfang des Rades; die Umfänge aber verhalten ſich wie die Anzahl der Zähne, welche ſie tragen.

An der Vorrichtung Fig. 29 ſei z. B. der Radius der Kurbel, an welcher der Arbeiter angreift, alſo $R' = 0{,}5$ Meter, der Radius der Welle D aber,

Fig. 29.



Digitized by Google

an welcher die Last hängt, also $r = 0{,}12$ Meter; ferner habe der auf der Kurbelaxe sitzende Trieb 12, das Rad H aber 72 Zähne, so haben wir:

$$P = \frac{0{,}12}{72} \cdot \frac{12}{0{,}5} Q = 0{,}04\, Q.$$

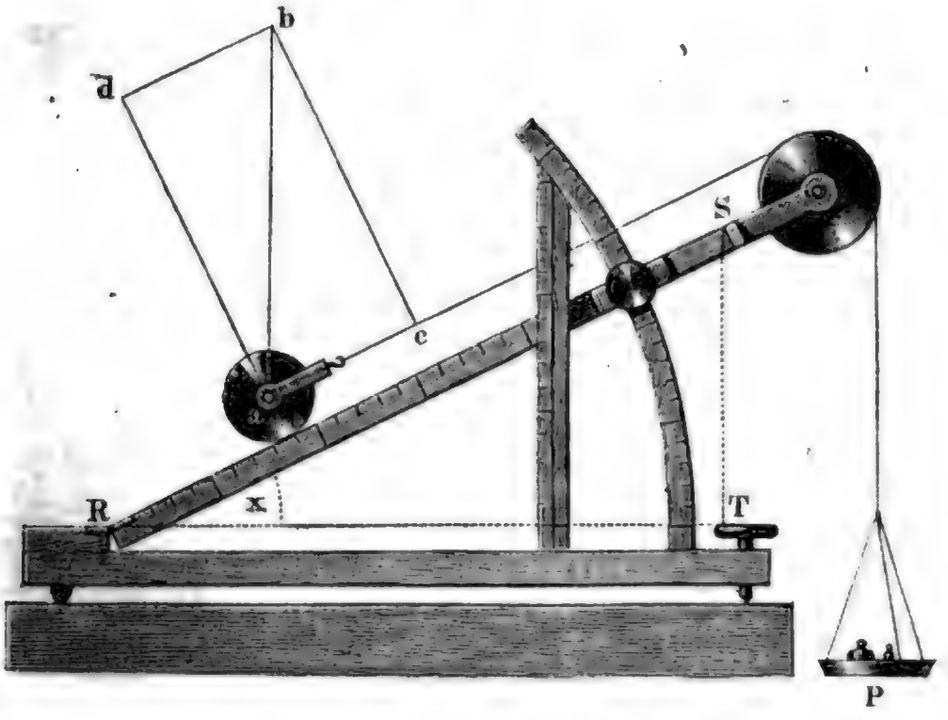
Bei dem Räderwerk Fig. 29 muß die Kurbelaxe 6 Umdrehungen machen, um 1 Umdrehung der Welle D zu bewirken.

Räderwerke werden nicht allein benutzt, um große Lasten mit kleinen Kräften zu heben, wie dies z. B. bei Krahnen der Fall ist, sondern auch um die Drehung einer Axe in eine schnellere oder langsamere zu verwandeln.

Ein Mühlstein muß mit ziemlich großer Geschwindigkeit umgedreht werden, während das Wasserrad sich sehr langsam umdreht; durch Vermittelung eines Räderwerkes wird nun die langsame Umdrehung des Wasserrades in eine rasche Umdrehung des Mühlsteins verwandelt. Das Umgekehrte findet auch bei Uhren Statt.

Die schiefe Ebene bietet uns ein praktisches Beispiel von der Zerlegung der Kräfte dar. Wenn sich eine Last a auf einer Ebene RS, Fig. 30, 22

Fig. 30.



befindet, welche mit der Horizontalen einen Winkel x bildet, so ist die nach der Richtung ab wirkende Schwere des Körpers nicht mehr rechtwinklig gegen die Ebene gerichtet, die Ebene hat also auch nicht den vollen Druck der Last auszuhalten. In der That läßt sich die Schwere des Körpers in zwei andere Kräfte zerlegen, von denen die eine rechtwinklig gegen die Ebene als Druck wirkt, während die andere parallel mit der schiefen Ebene wirkend den Körper herabtreibt. Die Größe dieser beiden Kräfte läßt sich leicht durch Construction ermitteln. Wenn ab die Größe und Richtung der Schwerkraft darstellt, so haben wir durch a nur eine Linie rechtwinklig zur schiefen Ebene und eine

andere parallel mit derſelben zu ziehen und ſodann von b aus die Perpendikel bd und bc auf dieſe Linien zu fällen. Die Linie ad ſtellt uns die Größe des Druckes dar, welchen die Ebene auszuhalten hat, ac aber die Größe der Kraft, welche die Laſt zur ſchiefen Ebene heruntertreibt; oder mit anderen Worten, der Druck auf die Ebene und die Kraft, welche den Körper parallel der ſchiefen Ebene zu bewegen ſtrebt, verhalten ſich zum Gewichte des Körpers, wie die Linien ad und ac zu ab.

Nun aber iſt das Dreieck abc dem Dreiecke RST ähnlich, und zwar verhält ſich $ab : ac = RS : ST$, und daraus folgt, daß die Kraft, welche den Körper zur ſchiefen Ebene heruntertreibt, ſich zu ſeinem Gewichte verhält, wie die Höhe der ſchiefen Ebene zu ihrer Länge.

Bezeichnen wir durch

Q das Gewicht des Körpers, welches in obiger Zeichnung durch die Linie ab repräſentirt war; durch

P die Kraft ac, welche der Körper zur ſchiefen Ebene heruntertreibt; ferner durch

H die Höhe ST der ſchiefen Ebene, und endlich durch

L die Länge RS derſelben, ſo haben wir

$$Q : P = L : H$$

oder

$$P = Q \frac{H}{L}.$$

Nun aber iſt $\frac{H}{L} = \sin x$, wenn wir mit x den Winkel bezeichnen, welchen die ſchiefe Ebene mit der Horizontalen macht. Wir haben alſo für die Beziehung zwiſchen Kraft P und Laſt Q auf der ſchiefen Ebene auch die Gleichung

$$P = Q \sin x.$$

Geſetzt, die Walze a, d. h. die Laſt Q wiege 1000 Gramm und der Winkel x ſei 30^0; ſo iſt $ST = {}^1/_2\, RS$, alſo auch $ac = {}^1/_2\, ab$, d. h. die Kraft, welche die Walze heruntertreibt, iſt der Hälfte ihres Gewichtes gleich. Man wird alſo das Herabrollen verhindern können, wenn man die Kraft P (Wagſchale ſammt eingelegtem Gewicht) gleich 500 Gramm macht.

Wäre der Winkel $x = 19^0\,13'$, ſo würde $ST = {}^1/_3\, RS$ ſein, und man müßte das Gewicht P nur ${}^{1000}/_3 = 333$ Gramm machen, um das Herabrollen der Walze zu verhindern.

Da $\sin 14^0\,13'$ ſehr nahe gleich ${}^1/_4$ iſt, d. h. da für den Winkel $x = 14^0\,13'$ $ST = {}^1/_4\, RS$, ſo muß für dieſen Fall $P = {}^1/_4\, 1000 = 250$ Gramm ſein.

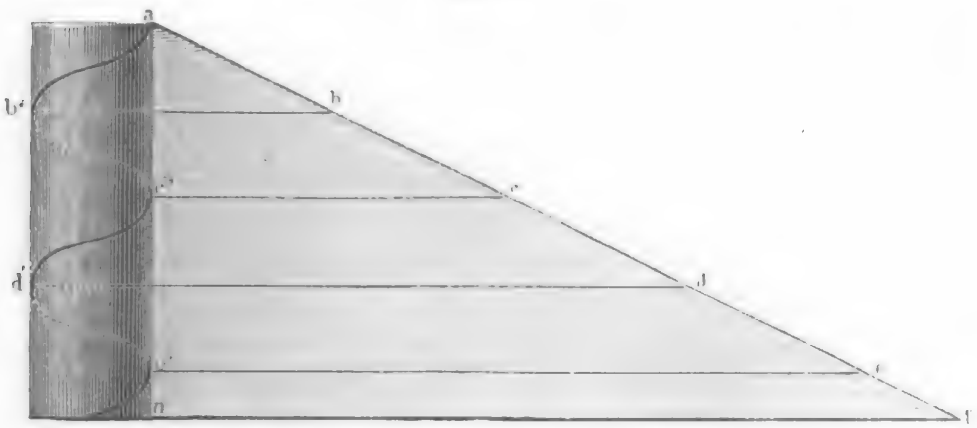
Praktiſche Anwendungen der ſchiefen Ebene kommen täglich vor. Jeder Weg, welcher eine Anhöhe hinaufführt, iſt eine ſchiefe Ebene, auf welcher Laſten in die Höhe geſchafft werden; um z. B. einen Laſtwagen auf einer geneigten Chauſſee aufwärts zu ziehen, muß außer der Kraft, welche nöthig iſt, um die

Reibung zu überwinden, die gerade ebenſo auch bei ganz horizontalen Wegen überwunden werden muß, noch eine Kraft angewandt werden, um dem mit der ſchiefen Ebene parallel wirkenden Antheil der Schwerkraft das Gleichgewicht zu halten. Dieſer Antheil iſt aber um ſo größer, je ſteiler der Weg iſt. Aus dieſem Grunde führt man an ſteilen Bergen die Chauſſeen nicht geradeaus, ſondern man zieht es vor, große Umwege zu machen und den Weg in Windungen, die weniger ſteil ſind, auf den Gipfel zu führen. Bei Bauten aller Art kommt es häufig vor, daß die Materialien auf ſchiefen Ebenen in die Höhe geſchafft werden, ja häufig werden ſolche ſchiefe Ebenen auf beſonders zu dieſem Zwecke aufgeſchlagenen Gerüſten angelegt. Dieſe Anwendung der ſchiefen Ebene war ſchon im grauen Alterthume bekannt; denn höchſt wahrſcheinlich bedienten ſich ihrer die alten Aegypter, um die ungeheuren Steinblöcke in die Höhe zu ſchaffen, welche ſie zu ihren Pyramiden verwandten.

Die Schraube iſt eine um einen Cylinder herumgewundene ſchiefe Ebene. 23

Es ſei $a\,o\,f$, Fig. 31, ein rechtwinkliges Stück Papier, deſſen verticale Kathete an einem Cylinder befeſtigt iſt. Wird nun das Papier um den Cylinder

Fig. 31.



herumgewickelt, ſo bildet die Hypotenuſe af auf dem Cylinder eine Schraubenlinie, deren Lauf man in der Figur leicht verfolgen kann.

Iſt $c'\,c$ gleich dem Umfange des Cylinders, ſo wird beim Umwickeln c nach c' vertical unter a kommen. Der Punkt b kommt nach b', d nach d' u. ſ. w. Die auf die hintere Seite des Cylinders fallenden Stücke der Schraubenlinie ſind punktirt. Die Höhe von a bis c', von b' bis d' u. ſ. w. iſt die Höhe eines Schraubenganges.

Denken wir uns an der Schraubenlinie um den Cylinder ein Dreieck fortgeführt, welches die Höhe eines Schraubenganges hat, ſo entſteht ein ſogenanntes ſcharfes Schraubengewinde, wie ein ſolches in Fig. 32 (a. f. S.) dargeſtellt iſt; denkt man ſich aber ein Viereck, deſſen Höhe gewöhnlich halb ſo groß iſt als die Höhe eines Schraubenganges, auf dieſelbe Weiſe um den Cylinder geführt, ſo entſteht ein flaches Schraubengewinde; ein ſolches iſt Fig. 33 dargeſtellt.

Digitized by Google

Wir haben eben ſolche Schraubengewinde betrachtet, welche um einen ſoliden Cylinder herumgelegt ſind; Schrauben, welche auf dieſe Weiſe gebildet ſind, werden Schraubenſpindeln genannt; werden aber die Gewinde auf dieſelbe Weiſe um einen hohlen Cylinder herumgeführt, ſo entſteht eine Schraubenmutter, Fig. 34.

Fig. 32.

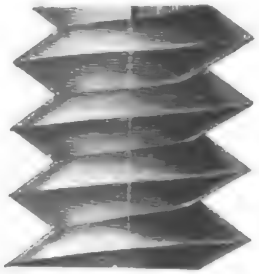


Fig. 33.

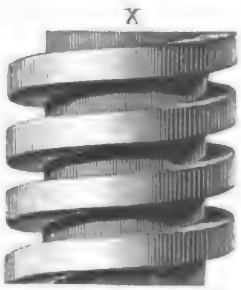
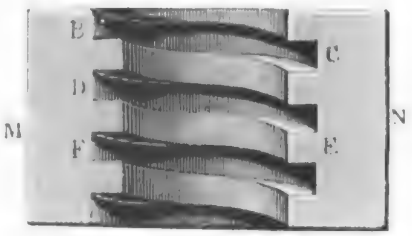


Fig. 34.



Eine Schraubenſpindel iſt für ſich allein zum Fortſchieben oder Heben einer Laſt, oder um einen ſtarken Druck auszuüben, nicht zu gebrauchen; ſie muß mit einer Schraubenmutter ſo verbunden ſein, daß die Erhabenheiten der einen genau in die Vertiefungen der anderen paſſen. Fig. 34 ſtellt den Durchſchnitt einer Schraubenmutter dar, welche zur Spindel Fig. 33 paßt. Iſt eine Schraubenſpindel *s*, Fig. 35, vertical geſtellt und die Schraubenmutter in *m n* feſt, ſo wird die Schraubenſpindel bei jeder Umdrehung um die Höhe eines Schraubenganges auf- oder niedergehen, indem die Windungen der Schraubenſpindel auf den Windungen der Schraubenmutter wie auf einer ſchiefen Ebene auf und nieder gleiten. Sollte eine auf der Schraubenſpindel liegende Laſt durch Umdrehung derſelben gehoben werden, ſo iſt klar, daß hier dieſelben Principien gelten, wie bei einer ſchiefen Ebene von gleicher Steigung.

Fig. 35.

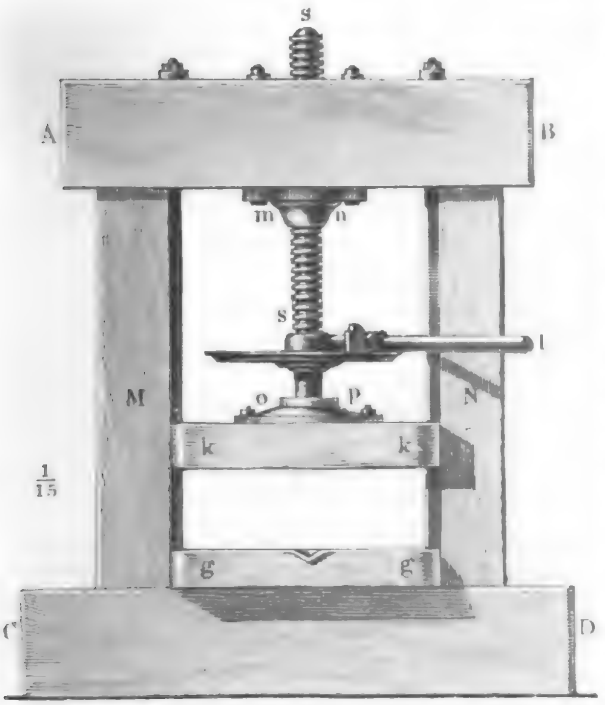
Es wird ſich alſo die (am Umfange der Spindel angebrachte) Kraft P für den Fall des Gleichgewichts an der Schraube zur Laſt Q verhalten, wie die Höhe des Schraubenganges H zum Umfange der Spindel U, oder es iſt

$$P = Q\,\frac{H}{U} \text{ oder } P = Q\,\frac{H}{2\,\pi\,r},$$

wenn wir durch r den Radius der Schraubenſpindel bezeichnen (π ſteht wie immer für das Peripherieverhältniß 3,14 ...).

Die Schraubenpreſſe, Fig. 36, iſt ein anderes Beiſpiel von der Anwendung der Schraube. Eine Schraube s paßt in die feſte Mutter $m\,n$. Am unteren Ende der Schraube iſt ein Hebel angebracht, mittelſt deſſen man die Schraube umdreht. — Der auf- oder niedergehenden Bewegung der Schraube folgt die Preßplatte k, ohne ſich jedoch mit ihr zu drehen, was durch die Poſten M und N verhindert wird. Auf die Platte g wird der auszupreſſende Körper gelegt, welcher natürlich mit großer Kraft zuſammengedrückt wird, wenn man die Schraube in der entſprechenden Richtung dreht.

Fig. 36.



Um den Effect einer Schraube richtig zu berechnen, darf man die Reibung nicht außer Acht laſſen, die hier eine große Rolle ſpielt, wie wir ſpäter noch ſehen werden. Um aus der Schraube eine kräftige Maſchine zu machen, läßt man die Kraft, welche ihre Umdrehung bewirkt, nicht direct am Umfange der Schraube, ſondern an einem größeren Hebelarme wirken, wie man dies bei der Schraubenpreſſe, Fig. 36 ſowohl, wie bei der Schraubenwinde, Fig. 35, ſieht.

Auch zu anderen Zwecken als zur Ausübung eines großen Druckes wird die Schraube noch angewandt. Eine Schraube, welche in ihrer Längenrichtung nicht verſchiebbar iſt, wird eine bewegliche Schraubenmutter bei jeder Umdrehung um einen Schraubengang voranſchieben; bei gleichförmiger Umdrehung der Schraube wird alſo auch die Mutter mit gleichmäßiger Geſchwindigkeit fortgeſchoben. Darauf beruht das gleichmäßige Fortſchieben des Supports an Drehbänken u. ſ. w.

Da bei einigermaßen feinen Schraubengängen ſelbſt einer ganzen Umdrehung des Schraubenkopfes nur ein ſehr geringes Fortſchieben entſpricht, ſo be-

nutzt man bei Meßinſtrumenten eine feine Schraube zur genaueren Einſtellung. — Da man, wenn der Schraubenkopf einigermaßen groß und in Grade eingetheilt iſt, noch den 360ſten Theil einer ganzen Umdrehung meſſen kann, ſo iſt man auch im Stande, vermittelſt einer ſolchen Schraube noch ein Fortſchieben um den 360ſten Theil der ohnehin ſchon geringen Höhe eines Schraubenganges zu meſſen; eine feine Schraube kann alſo als Mikrometerſchraube zur Hervorbringung und Meſſung ſehr kleiner Längenverſchiebungen angewandt werden. In dieſer Weiſe benutzt man die Mikrometerſchraube bei Mikroſkopen zur Meſſung kleiner Gegenſtände.

24 **Der Keil.** Eine andere Form, in welcher die ſchiefe Ebene zur Anwendung kommt, iſt der Keil; er wird gebraucht, um Holz und Steinmaſſen zu ſpalten, Fig. 37; dadurch, daß man Keile unter die Kiele der Schiffe treibt, werden ſie auf den Werften gehoben; das Auspreſſen des Oels aus dem zerriebenen Samen wird gewöhnlich durch Eintreiben von Keilen bewerkſtelligt u. ſ. w. Alle unſere Schneidewerkzeuge, Meſſer, Scheeren, Meißel u. ſ. w., ſind nichts anderes als Keile. Daß die Wirkung des Keils ſich wirklich auf die der ſchiefen Ebene zurückführen läßt, kann man durch den Apparat, Fig. 38, erläutern.

Fig. 37.

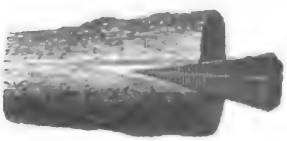
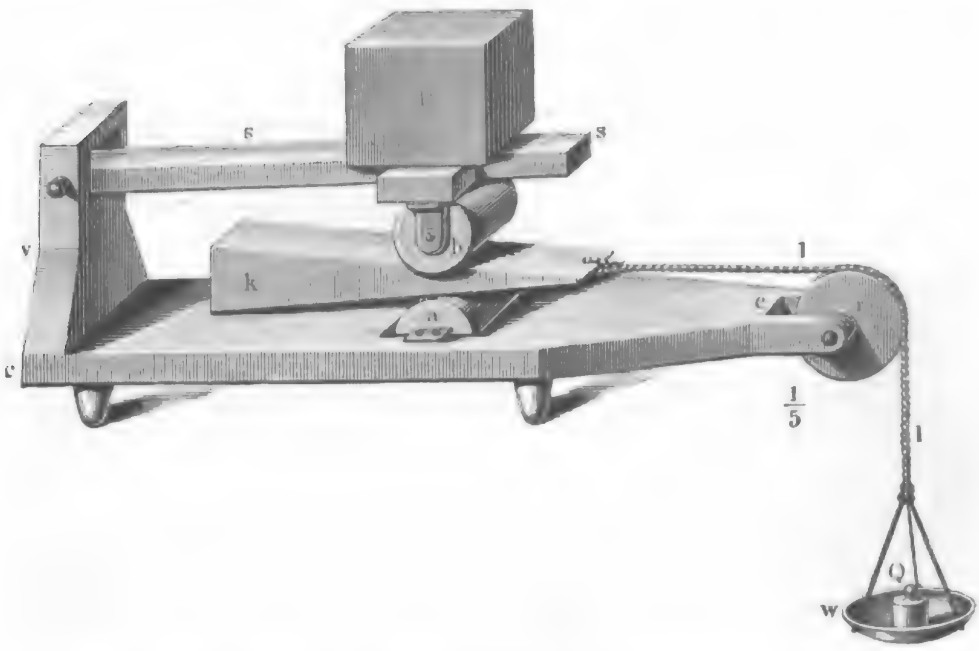


Fig. 38.



Der Keil k ſoll zwiſchen den Rollen a und b hindurchgezogen werden. a iſt feſt, b an dem beweglichen Brette s befeſtigt. Auf s liegt ein Gewicht P; mit einem kleinen Gewichte Q, welches in der Wagſchale w liegend den Keil nach;

der Rechten zieht, kann man eine verhältnißmäßig große Last P heben, und zwar eine um so größere, je schmäler der Rücken des Keils im Vergleich zu seiner Länge ist.

Aus der Theorie der schiefen Ebene läßt sich leicht ableiten, daß zwischen der Kraft Q und der Last P am Keil Gleichgewicht stattfindet, wenn

$$Q = P \sin \alpha,$$

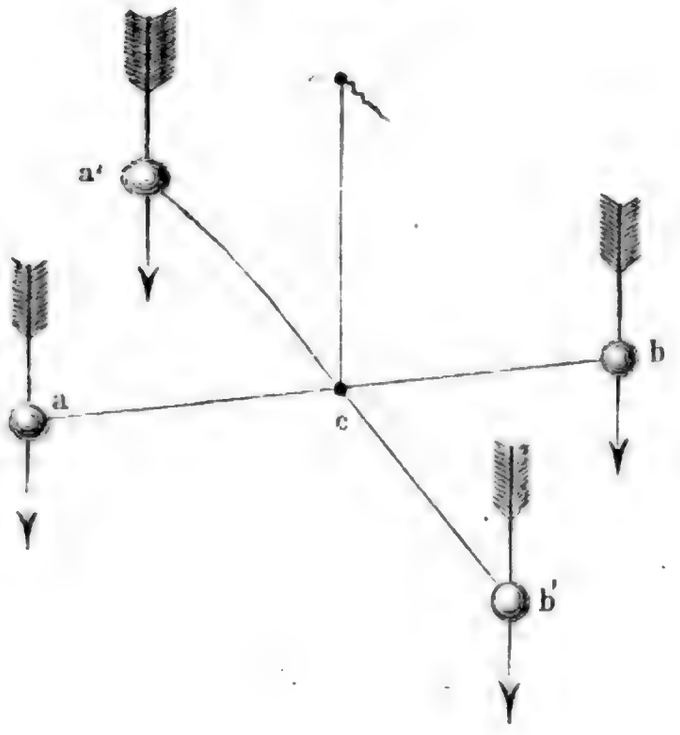
vorausgesetzt, daß die Last P rechtwinklig auf die Seitenfläche, die Kraft Q rechtwinklig gegen den Rücken wirkt und daß mit α der Winkel der Schneide bezeichnet wird.

Wenn der Winkel α nicht groß ist, läßt sich das Gesetz des Gleichgewichtes am Keil in Worten auch so ausdrücken: Eine Kraft Q, welche rechtwinklig gegen den Rücken des Keils wirkt, hält einem rechtwinklig gegen die Seite des Keils wirkenden Druck P das Gleichgewicht, wenn sich Q zu P verhält, wie die Breite des Keilrückens zur Länge des Keils.

Schwerpunkt. Ein jeder fester Körper, z. B. ein Stein, ein Stück 25
Holz u. s. w., besteht aus einer gewissen Anzahl von Molekülen, welche in bestimmter gegenseitiger Stellung zu einem Ganzen verbunden sind. Auf jedes dieser Moleküle wirkt die Schwere und treibt es mit einer bestimmten Kraft gegen den Mittelpunkt der Erde hin. Die Richtung der Schwerkraft ist für alle Moleküle dieselbe, der ganze Körper wird also durch eine Anzahl unter sich paralleler Kräfte gegen die Erde getrieben. Die Resultirende (die Summe) aller dieser Elementarkräfte ist es, was wir das Gewicht des Körpers nennen.

Der Angriffspunkt dieser Resultirenden wird der Schwerpunkt genannt. Die Lage dieses Schwerpunktes bleibt (in Beziehung auf den Körper selbst) unveränderlich dieselbe, wie man den Körper auch drehen und wenden mag, wie sich aus folgender Betrachtung ergiebt.

Fig. 39.

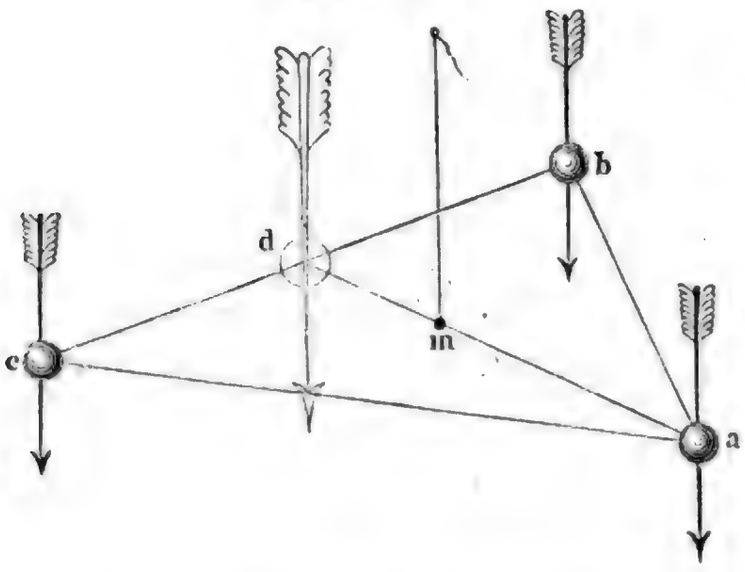


Stellen wir uns vor, die beiden Punkte a und b, Fig. 39, seien zwei schwere, durch die gerade, feste, gewichtlose Linie ab verbundene Moleküle, so folgt aus den Hebelgesetzen, daß Gleichgewicht stattfinden muß, sobald nur der Punkt c unterstützt ist, welches auch der Winkel sein mag, welchen die Linie ab mit der Horizontalen macht. Findet also Gleichgewicht

Statt, wenn der Hebel die Lage $a\,b$ hat, ſo bleibt es auch noch beſtehen, wenn man ihn in die Lage $a'\,b'$ bringt. Der Punkt c iſt der Schwerpunkt des aus den beiden ſchweren Molekülen a und b beſtehenden Körpers. Ohne das Gleichgewicht zu ſtören, kann man die Wirkungen der Schwerkraft der beiden Moleküle im Schwerpunkte c vereinigt denken.

Wenn an den drei Eckpunkten eines ſtarren gewichtloſen Dreiecks $a\,b\,c$, Fig. 40, drei gleiche parallele Kräfte wirken, ſo iſt es leicht, den Angriffspunkt ihrer Mittelkraft zu beſtimmen. Ohne das Gleichgewicht zu ſtören, kann man die beiden in b und c wirkenden Kräfte in der Mitte d der Linie $b\,c$ vereinigen; und ſo iſt die Wirkung der drei Kräfte auf die Wirkung von zweien reducirt, welche in den Punkten a und d angreifen. Die in d angreifende Kraft iſt doppelt ſo groß als die in a angreifende; wenn man demnach die Linie $a\,d$ durch den Punkt m ſo in zwei Theile theilt, daß $a\,m$ doppelt ſo groß iſt als $d\,m$, ſo muß zwiſchen den in d und a wirkenden parallelen Kräften $2\,p$ und p nothwendig Gleichgewicht ſtattfinden, wenn nur der Punkt m unterſtützt iſt, welches auch übrigens die Lage der Linie $a\,d$ ſein mag. Da aber die in d wirkende Kraft ja nur die Reſultirende der in b und c wirkenden parallelen Kräfte iſt, ſo kann man, ohne etwas zu ändern, auch dieſe ſelbſt wieder ſtatt ihrer Reſultirenden nehmen; und ſomit iſt klar, daß zwiſchen den drei parallelen in a, b und c angreifenden Kräften nothwendig Gleichgewicht beſteht, wenn nur der Punkt m unterſtützt iſt, oder man in m eine Kraft in entgegengeſetzter Richtung wirken läßt, welche gleich $3\,p$ iſt, welches auch übrigens die Lage des Dreiecks ſein mag.

Fig. 40.



Stellen wir uns vor, die Punkte a, b und c ſeien drei ſchwere Moleküle, welche ſtets in unveränderlicher Stellung gegen einander zu bleiben genöthigt ſind, ſo wirkt die Schwerkraft dieſer Moleküle gerade ſo, wie die vorher in a, b und c angreifenden Kräfte; und es iſt klar, daß der aus drei Molekülen beſtehende Körper im Gleichgewicht ſein wird, ſobald nur ſein Schwerpunkt m unterſtützt iſt.

Gerade ſo aber, wie ſich zeigen läßt, daß zwei und drei ſchwere, feſt verbundene Moleküle einen Schwerpunkt haben müſſen, ſo kann man auch einſehen, daß je vier, fünf, ſechs ꝛc. feſt verbundene Moleküle einen ſolchen Schwerpunkt haben müſſen, daß endlich jeder feſte Körper einen unveränderlichen Schwerpunkt haben muß, wie groß auch die Anzahl der Moleküle ſein mag, aus denen er beſteht.

Damit ein schwerer Körper im Gleichgewichte sei, braucht also nur eine einzige Bedingung erfüllt zu sein, nämlich die, daß sein Schwerpunkt unterstützt ist. Ein Körper, für welchen diese Bedingung erfüllt ist, befindet sich im Gleichgewicht, welches im Uebrigen auch seine Lage sein mag.

Aus diesen Betrachtungen läßt sich eine Methode ableiten, den Schwerpunkt der Körper durch den Versuch zu finden. Man hänge den Körper an einem Punkte a auf, Fig. 41, so wird die Verlängerung des den Körper tragenden Fadens in einem Punkte c aus dem Körper austreten. Auf der Linie $a\,c$ muß nothwendig der Schwerpunkt liegen. Hängt man den Körper in einem zweiten Punkte b, Fig. 42, auf, so muß der Schwerpunkt abermals auf der Verlängerung des Fadens, also auf der Linie $b\,d$, liegen; der Schwerpunkt liegt also auf dem Durchschnittspunkte der Linien $b\,d$ und $a\,c$. Der Schwerpunkt von homogenen ebenen Scheiben ist nach dieser Methode leicht zu bestimmen; bei anderen Körpern ist es jedoch mit Schwierigkeiten verbunden, die Verlängerung des verticalen Fadens durch das Innere des Körpers genau zu verfolgen.

Fig. 41.

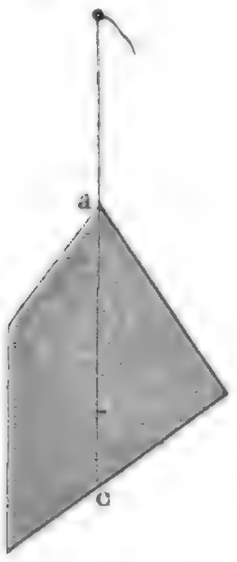
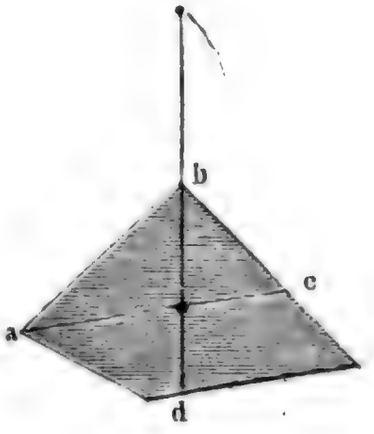


Fig. 42.



Der Schwerpunkt homogener Körper von regelmäßiger Gestalt läßt sich durch einfache geometrische Betrachtungen bestimmen.

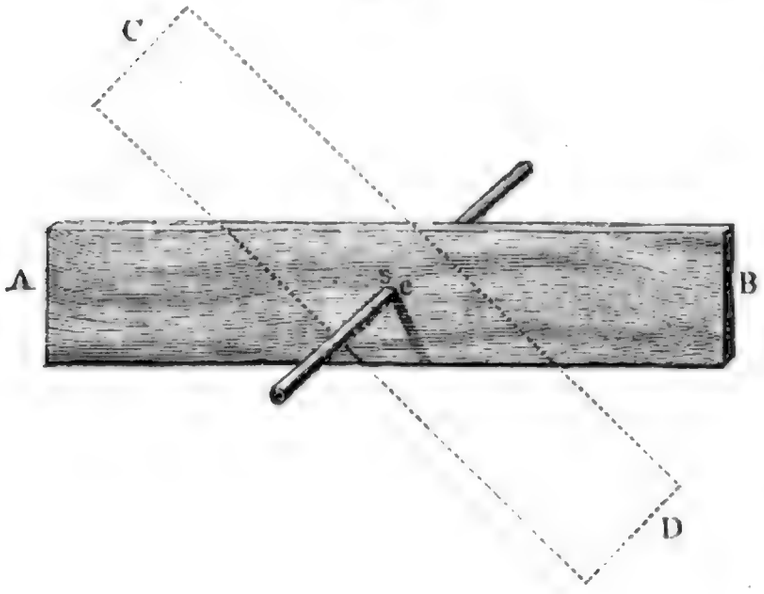
Vom Gleichgewicht. Wir haben schon gesehen, daß die einzige Gleich- 26
gewichtsbedingung schwerer Körper die ist, daß ihr Schwerpunkt unterstützt sein muß. Diese Bedingung aber kann auf verschiedene Weise erfüllt sein, je nachdem die Körper in festen Punkten aufgehängt sind oder auf Stützpunkten ruhen.

Betrachten wir zunächst einen Körper, der an einem festen Punkte gleichsam aufgehängt ist, um welchen er sich frei drehen kann, so ist er nur dann im Gleichgewichte, wenn sein Schwerpunkt s mit jenem festen Drehpunkte c in einer Verticallinie liegt. Was die gegenseitige Lage dieser Punkte betrifft, so sind folgende drei Fälle möglich:

1) Der feste Punkt c (die feste Drehungsaxe) geht durch den Schwerpunkt des Körpers selbst hindurch, wie dies z. B. Fig. 43 (a. f. S.) darstellt. In diesem Falle liegen s und c jedenfalls in einer Verticalen, welche Lage man übrigens auch dem Körper giebt; es findet also Gleichgewicht Statt, wie er auch gestellt sein mag, für die Stellung $A\,B$ also ebenso gut wie für die Stellung $C\,D$.

Es iſt dies der Fall des indifferenten Gleichgewichtes.

Fig. 43.



2) Der Schwerpunkt s liegt vertical unter dem Drehpunkt c, Fig. 44. Dreht man den Körper aus dieſer Lage heraus, ſo daß etwa der Schwerpunkt nach s' kommt, ſo führt die Schwerkraft den Körper wieder in die Gleichgewichtslage zurück, ſobald die ſtörende Kraft zu wirken aufhört. Ein ſolches Gleichgewicht wird ein feſtes oder ſtabiles genannt. Iſt endlich

3) der Schwerpunkt s des Körpers vertical über dem Drehpunkte, wie Fig. 45, ſo befindet ſich der Körper im Zuſtande des labilen oder veränderlichen Gleichgewichts; denn wenn die geringſte ſtörende Kraft den Körper aus

Fig. 44.

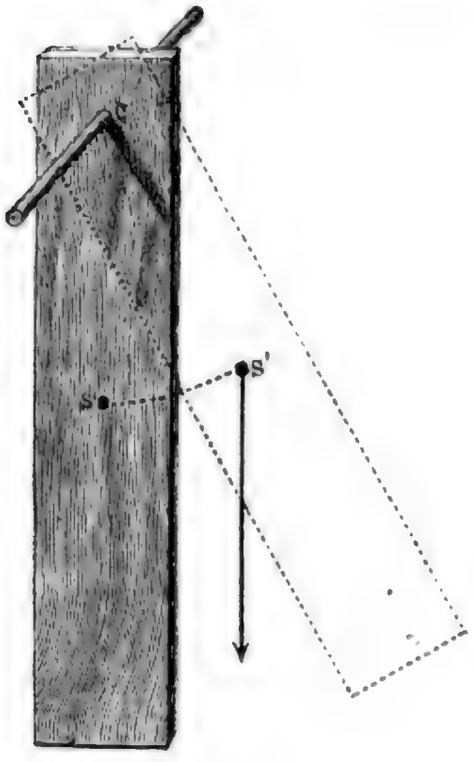
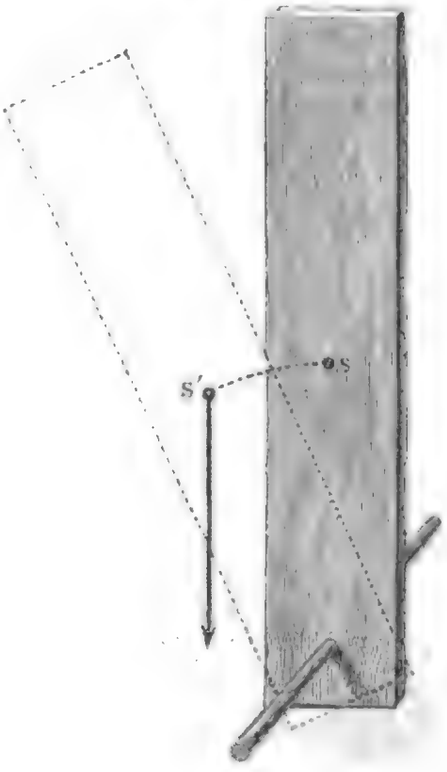


Fig. 45.



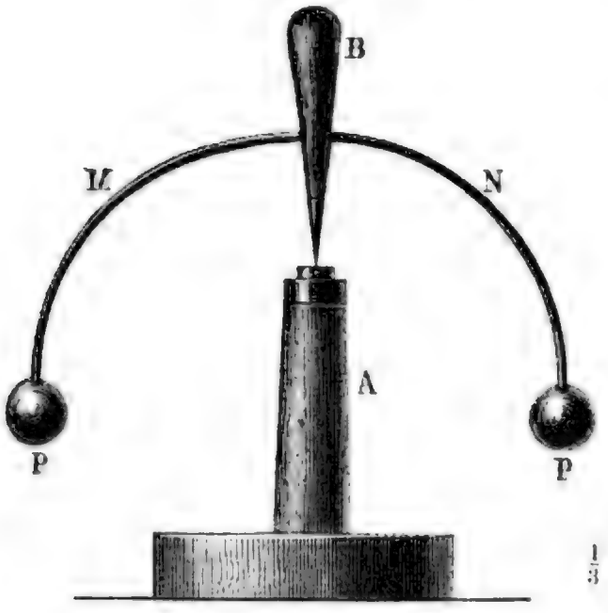
dieſer Lage herausbringt, ſo wirkt die im Schwerpunkte s' angreifende Schwerkraft des Körpers dahin, ihn noch weiter von ſeiner Gleichgewichtslage zu entfernen, und er kann nicht eher wieder in die Ruhe kommen, als bis nach einer

halben Umdrehung der Schwerpunkt vertical unter dem Drehpunkt angekommen ist.

Einen interessanten Fall des stabilen Gleichgewichts zeigt Fig. 46.

Ein Holzstück B, welches unten mit einer Stahlspitze versehen ist, sei mit dieser auf ein flach ausgehöhltes Metallstückchen gesetzt, welches die obere Endfläche des Stativs A bildet. Das Holzstück B wird umfallen, weil sein Schwerpunkt über dem Unterstützungspunkte liegt. Wenn aber durch B ein Drahtbogen MN gezogen wird, welcher an beiden Enden die Bleikugeln p trägt, so daß durch dieselben der gemeinschaftliche Schwerpunkt des Holzstückes B und der Bleikugeln unter die Stahlspitze fällt, so findet nun ein stabiles Gleichgewicht Statt, B fällt nicht mehr um; der Körper ist jetzt eigentlich aufgehängt.

Fig. 46.



$\frac{1}{3}$

Wenn ein Körper mit mehr oder weniger breiter Basis auf dem Boden steht, so muß die durch seinen Schwerpunkt gezogene Verticale noch die Basis selbst treffen, wenn Gleichgewicht stattfinden soll. Demnach muß der schiefe Cylinder (Fig. 47) im Gleichgewichte sein, wenn er nur die in der Figur schattirte Länge hat; er würde umfallen müssen, wenn er eine solche Höhe hätte, daß sein Schwerpunkt in b läge.

Wenn ein auf irgend einer vieleckigen Basis stehender Körper umgeworfen werden soll, so muß er zunächst um eine seiner Grundkanten gedreht werden,

Fig. 47.

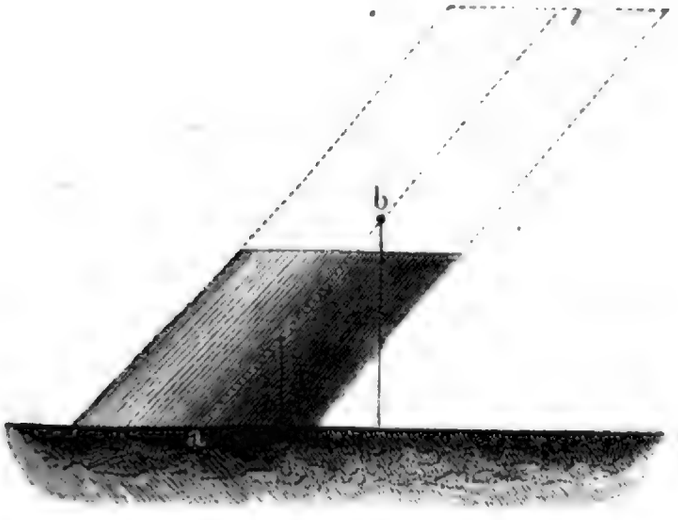
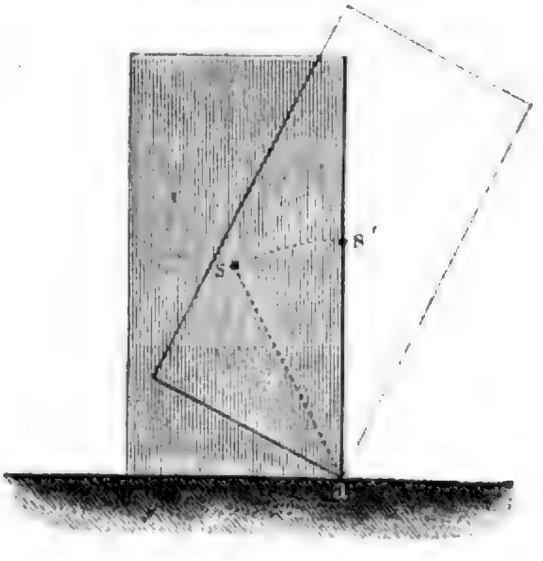


Fig. 48.



bis sein Schwerpunkt vertical über dieser Umdrehungskante steht. Sollte z. B. der in Fig. 48 dargestellte Klotz umgeworfen werden, und dabei die Kante a die Rolle der Umdrehungskante spielen, so hätte man zunächst den Klotz so weit

zu drehen, bis der Schwerpunkt s in die Lage von s' kommt; ließe die Kraft, welche das Umwerfen bewirken ſoll, eher nach, als der Schwerpunkt in s' angekommen iſt, ſo wird der Klotz in ſeine urſprüngliche Lage zurückfallen müſſen; hat man aber den Schwerpunkt nur im Mindeſten über s' hinausgebracht, ſo wird nun der Körper von ſelbſt ganz umfallen.

Ein Körper wird um ſo feſter ſtehen, d. h. ſeine Stabilität iſt um ſo größer, je mehr Kraft man anwenden muß, um ihn ſo weit zu drehen, bis der Schwerpunkt vertical über der Umdrehungskante ſteht.

Die Fig. 49 ſtelle einen Stein vor, welcher dieſelbe Baſis und daſſelbe Gewicht, alſo eine geringere Höhe hat wie der Holzklotz Fig. 48. Es wird nun ſchwerer ſein, den Stein um die Kante a umzuwerfen, als den Holzklotz, weil man beim Stein den Schwerpunkt weit mehr heben muß, um ihn bis s' zu bringen, als dies beim Holzklotz Fig. 48 der Fall iſt.

Daraus ergiebt ſich, daß unter übrigens gleichen Umſtänden ein Körper um ſo feſter ſteht, je tiefer ſein Schwerpunkt liegt. Ein hochbeladener Wagen wird alſo leichter umfallen als ein anderer, der mit gleichem Gewicht, aber nicht zu derſelben Höhe geladen iſt. Es ergiebt ſich daraus auch die Regel, daß man beim Laden von Wagen die ſchweren Gegenſtände ſo weit als möglich in den unteren Theil des Wagens bringen muß.

Ein Körper ſteht auch um ſo ſtabiler, je breiter unter übrigens gleichen Umſtänden ſeine Baſis iſt. Es ſtelle z. B. Fig. 49 einen Stein, Fig. 50 aber ein Metallſtück von gleichem Gewicht und gleicher Höhe dar, ſo

Fig. 49.

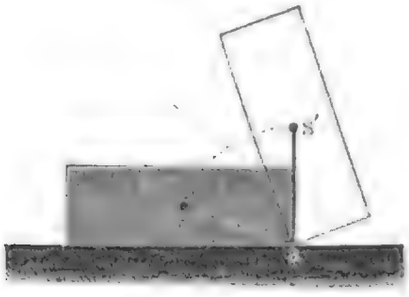
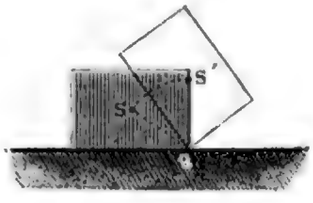


Fig. 50.



ſieht man ſchon aus der Figur, daß bei der Umkantung des Steins der Schwerpunkt höher gehoben werden muß, als bei der Umkantung des gleich ſchweren und gleich hohen Metallſtückes, deſſen Baſis ſchmäler iſt.

Ein Körper ſteht alſo um ſo feſter, je breiter ſeine Baſis iſt und je weniger hoch ſein Schwerpunkt über dieſer Baſis liegt. Ein vierfüßiges Thier ſteht feſt, wenn der Schwerpunkt ſeines ganzen Körpers über dem Viereck liegt, welches auf dem Boden durch ſeine vier Füße bezeichnet iſt. Wenn ein Menſch ſeinen Arm aufhebt, ſo wird der Schwerpunkt ſeines Körpers verſchoben; wenn ein Vogel ſeinen Hals ausſtreckt, ſo wird ſein Schwerpunkt bedeutend nach vorn gerückt. Ein Menſch, welcher Laſten trägt, muß, je nach der Art des Tragens, ſeine Haltung ändern. Trägt er die Laſt auf dem Rücken (Fig. 51), ſo muß er ſich vorbeugen, trägt er ſie in der linken Hand (Fig. 52), ſo muß er den

Oberkörper rechts neigen, denn sonst fiele der gemeinschaftliche Schwerpunkt des

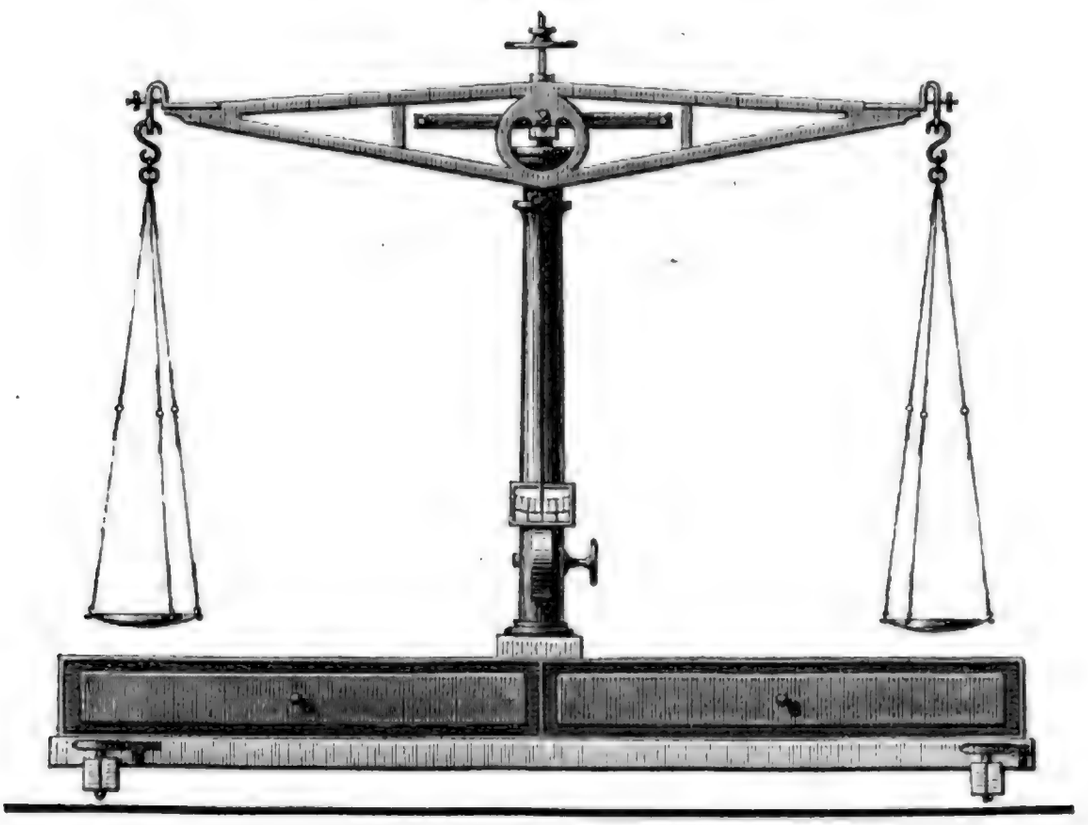
Fig. 51.

Fig. 52.

menschlichen Körpers und der getragenen Last außerhalb der Verbindungslinie der Füße, er müßte also umfallen.

Die Wage. Die gewöhnliche Wage besteht im Wesentlichen aus einem 27
Stabe, einem Balken, welcher um eine wagerechte feste Axe drehbar ist, die sich in der Mitte seiner Länge befindet. Ohne Belastung an den Enden soll der

Fig. 53.



Wagbalken eine vollkommen horizontale Lage annehmen. Auf beiden Seiten des Wagbalkens hängen Wagschalen, welche zur Aufnahme des zu wägenden

Körpers und der Gewichte dienen. Bei gleicher Belaſtung der Wagſchalen muß der Wagbalken ſeine horizontale Stellung beibehalten; bringt man jedoch in die eine Schale ein Uebergewicht, ſo muß ſich der Wagbalken nach dieſer Seite ſenken.

Wir wollen nun unterſuchen, durch welche Einrichtung den eben ausgeſprochenen Forderungen Genüge geleiſtet werden kann. Denken wir uns vorerſt die Wagſchalen noch weg, und nehmen wir an, der Wagbalken ſei in ſeinem Schwerpunkte unterſtützt, ſo haben wir den Fall eines indifferenten Gleichgewichts; der Wagbalken wird bei jeder beliebigen Neigung gegen die Horizontale im Gleichgewicht ſein. Eine ſolche Vorrichtung erfüllt alſo die erſte Forderung nicht, daß der Wagbalken für ſich, ohne Belaſtung an den Enden, eine horizontale Lage annehmen muß. Dieſer Forderung kann nur dadurch genügt werden, daß der Schwerpunkt des Wagbalkens *unter* ſeinem Drehpunkte liegt.

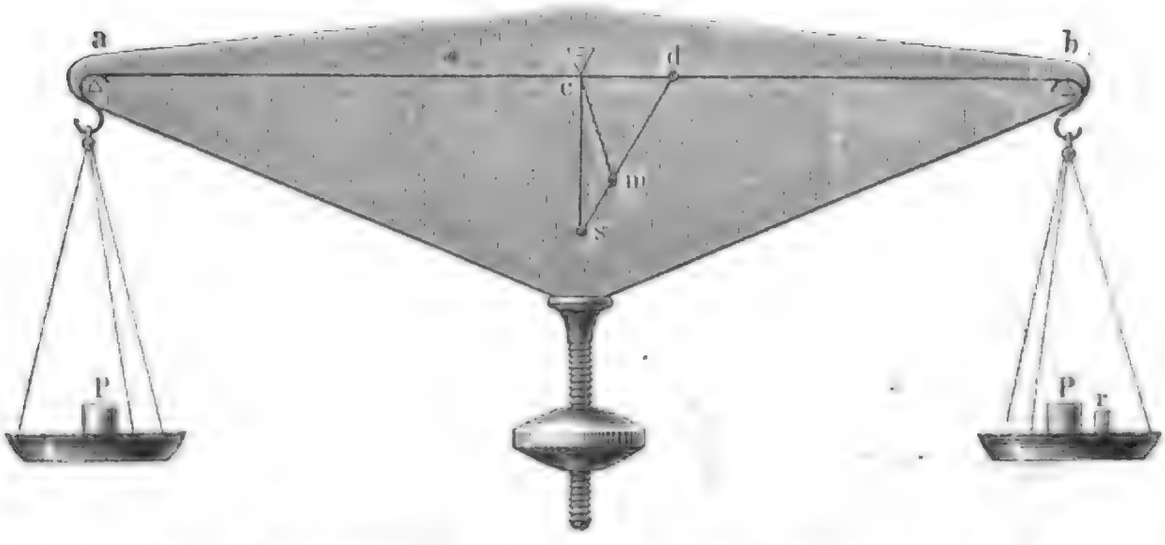
Denken wir uns rechtwinklig auf die Längenaxe des Wagbalkens eine verticale Linie gezogen, welche den Wagbalken halbirt, ſo muß dieſe Linie durch den Drehpunkt des Wagbalkens und durch ſeinen Schwerpunkt gehen.

Durch das Anhängen der Wagſchalen wird in unſerem Raiſonnement nichts geändert; denn wir können uns ihr Gewicht in ihrem Aufhängepunkte vereinigt denken, und dann machen ſie einen integrirenden Theil des Wagbalkens aus.

Wenn man die Aufhängepunkte der Wagſchalen durch eine gerade Linie verbindet, ſo kann dieſe Linie durch den Drehpunkt des Wagbalkens gehen, oder über oder unter demſelben liegen. Der erſtere dieſer drei Fälle iſt ſowohl für die Betrachtung der einfachſte, als auch für die praktiſche Ausführung der zweckmäßigſte; wir wollen uns deshalb auf die Betrachtung dieſes Falles beſchränken.

In Fig. 54 ſei $a\,b$ die gerade Linie, welche die Aufhängepunkte der Wag-

Fig. 54.



ſchalen verbindet, deren Gewicht wir uns in den Punkten a und b vereinigt denken; c ſei der Aufhängepunkt des Wagbalkens, alſo der Drehpunkt deſſelben; s aber der unter c liegende Schwerpunkt des Wagbalkens. Wenn in a und b gleiche Gewichte P angehängt werden, ſo bleibt der Wagbalken in horizontaler

Lage ſtehen; denn man kann ſich die eine der Laſten direct in a, die andere direct in b wirkend denken, und ſomit fällt der gemeinſchaftliche Schwerpunkt der beiden Laſten P mit dem Punkte c zuſammen, und der gemeinſchaftliche Schwerpunkt aller an c hängenden Maſſen, d. h. des Wagbalkens und der Laſten P, fällt demnach in einen Punkt zwiſchen c und s. Dieſer gemeinſchaftliche Schwerpunkt liegt noch vertical unter dem Aufhängepunkte, das Gleichgewicht iſt alſo nicht geſtört.

Bringt man auf der einen Seite ein Uebergewicht r an, ſo fällt der Schwerpunkt der angehängten Laſten (die wir uns natürlich in den Punkten a und b vereinigt denken müſſen) nicht mehr mit c zuſammen, ſondern er rückt auf der Linie ab von c nach der Seite des Uebergewichtes, etwa nach d hin; der gemeinſchaftliche Schwerpunkt des Wagbalkens und der Laſten fällt demnach auf irgend einen Punkt m der Linie ds. Da aber bei horizontaler Stellung des Wagbalkens der gemeinſchaftliche Schwerpunkt m nicht mehr vertical unter dem Aufhängepunkte c liegt, ſo muß ſich der ganze Wagbalken um die Axe c ſo weit drehen, bis dieſe Bedingung wieder erfüllt iſt. Dabei wird ſich nothwendig der Arm ca heben, cb aber ſenken. Der Winkel, welchen der Wagbalken für den Fall des Uebergewichtes mit der Horizontalen macht, heißt Ausſchlagswinkel. Er iſt gleich dem Winkel scm.

Wir wollen nun unterſuchen, wie eine Wage eingerichtet ſein muß, damit ſie recht empfindlich ſei, d. h. damit ſie bei einem kleinen Uebergewicht ſchon einen großen Ausſchlag gebe.

1) Der Schwerpunkt des Wagbalkens muß möglichſt nahe unter dem Aufhängepunkte liegen; denn wenn bei übrigens unveränderten Umſtänden der Schwerpunkt s des Wagbalkens in die Höhe gerückt wird, ſo rückt auch der Punkt m vertical nach oben, was offenbar eine Vergrößerung des Winkels scm zur Folge hat. Bei guten Wagen hat man eine Vorrichtung angebracht, welche eine Regulirung der Lage des Schwerpunktes möglich macht In der Verlängerung der Linie cs iſt nämlich eine feine Schraube angebracht, an welcher ein den Umſtänden entſprechendes Gewicht auf- und abgeſchraubt werden kann, womit offenbar eine Verrückung des Schwerpunktes verbunden iſt. Hätte man dies Gewicht ſo weit hinaufgeſchraubt, daß s mit c zuſammenfiele, ſo hätte man ohne Belaſtung oder bei gleicher Belaſtung auf beiden Seiten den Fall des indifferenten Gleichgewichts; brächte man dann auf der einen Seite das Uebergewicht r an, ſo würde der Punkt m auf die Linie ab fallen, d. h alſo ſchon bei dem geringſten Uebergewichte würde der Ausſchlagswinkel ein rechter werden, der Wagbalken würde ganz umſchlagen, kurz das Inſtrument würde aufhören, brauchbar zu ſein.

2) Die Empfindlichkeit der Wage wächſt mit der Länge der Wagbalken. Wenn man, ohne ſonſt etwas zu verändern, den Wagbalken verlängern könnte, ſo würde die Entfernung cd in demſelben Verhältniß größer werden, und der Punkt m würde alſo auch nach einer Richtung, die mit ab parallel iſt, weiter von der Linie cs weggerückt werden, die Linie cm würde

alſo einen größeren Winkel mit cs machen, der Ausſchlagswinkel würde alſo wachſen.

3) Der Wagbalken muß möglichſt leicht ſein. In dem Punkte d können wir uns das Gewicht der Laſten $2P + r$, in s aber das Gewicht des Wagbalkens, welches wir mit g bezeichnen wollen, vereinigt denken. Offenbar hängt nun die Lage des gemeinſchaftlichen Schwerpunktes m von der Größe der an den Enden der Linie ds wirkenden Kräfte ab. Wenn das in s wirkende Gewicht g und das in d wirkende $2P + r$ einander gleich wären, ſo fiele m in die Mitte von ds; je kleiner aber g im Vergleich zu $2P + r$ wird, deſto mehr muß m nach d hinrücken, und deſto größer wird dann begreiflicherweiſe der Ausſchlag.

Was nun die beiden letzten Punkte betrifft, ſo iſt man doch an gewiſſe Gränzen gebunden, welche man nicht überſchreiten darf, ohne daß die Wage wegen der zu großen Länge der Wagbalken zu unbequem für den Gebrauch würde, oder wegen ihrer Leichtigkeit die nöthige Feſtigkeit verlöre.

Man wendet durchbrochene Wagbalken an, wie Fig. 53, um ihm bei geringem Gewichte doch möglichſte Feſtigkeit zu geben.

Es verſteht ſich von ſelbſt, daß man bei der Conſtruction einer Wage alle Sorgfalt darauf zu verwenden hat, die Wagbalken gleich lang zu machen. Da jedoch kleine Fehler nicht zu vermeiden ſind, ſo muß man durch die Methode der Wägung einen etwaigen Fehler zu corrigiren ſuchen. Die zweckmäßigſte Wägungsmethode möchte in dieſer Beziehung wohl folgende ſein: Man legt den zu wägenden Körper auf die eine Wagſchale, und bringt ihn durch Sand, Schrotkörner oder ſonſtige Gegenſtände, die man auf die andere Wagſchale legt, ins Gleichgewicht. Iſt dies erreicht, ſo nimmt man den zu wägenden Körper weg und ſubſtituirt ſtatt ſeiner ſo viel Gewichte, daß das Gleichgewicht dadurch abermals hergeſtellt wird. Dieſe neu aufgelegten Gewichte geben genau das Gewicht des Körpers an, die Wagbalken mögen nun gleich lang ſein oder nicht.

Damit an der Drehungsaxe eine möglichſt geringe Reibung ſtattfinde, wird ſie durch eine Schneide von Stahl gebildet; auch die Wagſchalen ſind an ſolchen Schneiden aufgehängt.

28 **Die Brückenwage.** Es möchte wohl hier der geeignetſte Platz ſein, auch die Brückenwage, die zur Wägung größerer Laſten ſo außerordentlich bequem iſt, zu beſchreiben.

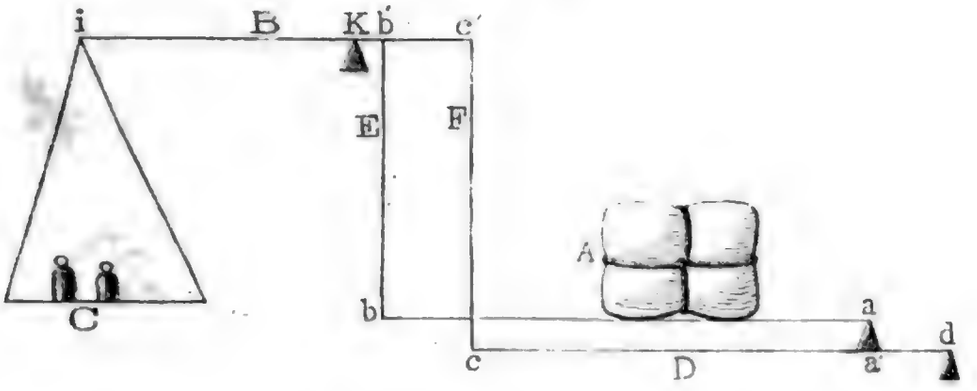
Fig. 55 ſtellt die Einrichtung der Brückenwage ſchematiſch dar. Die Laſt liegt auf einem Brette A, welches bei a auf einer Schneide ruht, bei b aber an einer Stange E befeſtigt iſt. Die Stange E iſt bei b' an dem einen Arme eines auf der Schneide K ruhenden Hebels angehängt.

Die Schneide a ruht auf einem Hebel D, deſſen Drehpunkt bei d iſt und deſſen anderes Ende c an einer bei c' angehängten Stange F befeſtigt iſt.

Wenn Kb' ſich zu Kc' genau ebenſo verhält wie da' zu dc, was bei einer guten Brückenwage durchaus der Fall ſein muß, ſo wirkt die auf das

Brett A gelegte Last gerade ebenso, als ob sie ganz an die Stange E angehängt wäre, welche Stelle des Brettes A sie auch einnehmen mag.

Fig. 55.



Es ist dies leicht zu beweisen. Ein Theil des Gewichts der Last, die wir mit P bezeichnen wollen, drückt auf die Schneide a, ein Theil zieht an der Stange E. Bezeichnen wir mit q den Druck auf die Schneide a, mit p den Zug an der Stange E, so ist $p + q = P$.

Die Last q, welche die Schneide a niederdrückt, wirkt an dem Hebelarme $a'd$; nehmen wir an, es sei $cd = n \,.\, a'd$, so wirkt die in a' drückende Kraft q gerade ebenso, wie eine bei c niederziehende Kraft $\frac{q}{n}$.

An dem Hebel B ziehen also rechts von der Schneide K zwei Kräfte, nämlich bei b' die Kraft p, bei c' aber die Kraft $\frac{q}{n}$.

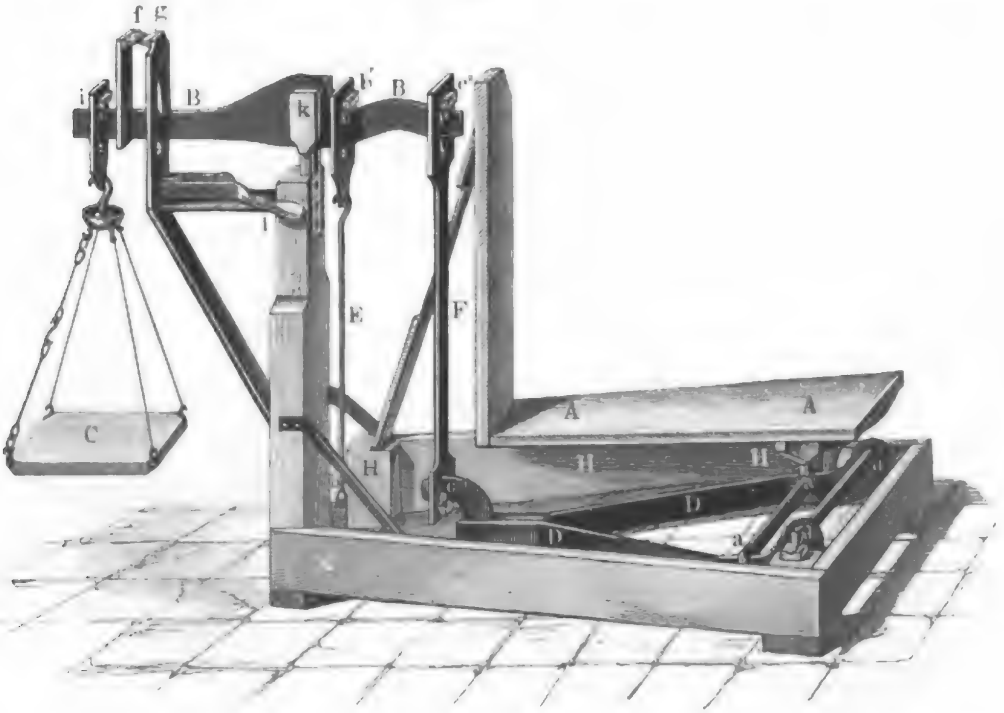
Die Kraft $\frac{q}{n}$, welche in c' angreift, wirkt aber gerade so als wie eine n mal größere Kraft, welche bei b' hängt, weil $Kc' = n \times Kb'$, also gerade so, als ob bei b' die Last $\frac{q}{n} \cdot n = q$ hinge; die beiden Kräfte, welche bei b' und c' angreifen, ziehen also den Hebel gerade eben so stark nieder, als ob bei b' die Last $p + q = P$ angehängt wäre.

Am linken Ende des Hebels B, bei i, ist die Wagschale angehängt, auf welche die Gewichte gelegt werden. Das Gewicht auf der Wagschale ist ein aliquoter Theil der Last P; das Verhältniß zwischen Last und Gewicht hängt ab von dem Verhältniß des Hebelarms Kb' zu Ki. In der Regel sind die Brückenwagen so construirt, daß das Gewicht $^1/_{10}$ der Last ist, daß man also mit 10 Pfund, die auf der Wagschale liegen, einer 100pfündigen auf der Brücke A liegenden Last das Gleichgewicht hält (Decimalwage).

Fig. 56 (a. f. S.) stellt die Ansicht einer Brückenwage und zwar zum Theil im Durchschnitt dar. Die Buchstaben sind dieselben wie in Fig. 55. Das Brett A, welches zur Aufnahme der Lasten dient, ist auf einem dreiseitigen hölzernen Rahmen H befestigt, von welchem unsere Figur ebenso wie vom Brett A nur die hintere Hälfte zeigt. Der Rahmen H sitzt hinten auf der Schneide a auf

und iſt vorn bei b an die Stange E angehängt. Die Schneide a iſt auf dem gabelförmig geſtalteten Hebel D befeſtigt, deſſen Drehpunkt hinten durch die

Fig. 56.



Schneide d gebildet iſt und welcher vorn bei c an der Stange F hängt.

In unſerer Figur iſt der Deutlichkeit wegen der Rahmen H, auf welchem das Tragbrett A befeſtigt iſt, viel zu hoch gezeichnet worden; er iſt ſo niedrig, daß, wenn durch Aufſchlagen des Hebels l die linke Seite des Hebels B gehoben wird, die rechte Seite deſſelben ſich ſo weit ſenkt, daß die Brücke A auf dem Rande des Geſtelles N aufſitzt, ſo daß alſo die Schneiden b' und c' nicht mehr die Laſt der Brücke zu tragen haben. Der Hebel l wird nach jedesmaligem Gebrauche aufgeſchlagen, damit die Schneiden geſchont werden.

Das Gewicht der Brücke iſt ſo geordnet, daß es, wenn der Hebel l niedergelegt iſt, den Wagbalken B ſich wagerecht ſtellt, daß alſo die Schneide g genau der Schneide f gegenüber zu ſtehen kommt. Iſt die Brücke belaſtet, ſo werden ſo viel Gewichte aufgelegt, daß die Schneiden einander wieder gegenüberſtehen.

Digitized by Google

Zweites Capitel.

Gleichgewicht der Theile fester Körper unter einander.

Die Molekularkräfte bei festen Körpern. Wir haben schon 29
oben gesehen, daß man, um die Aggregatzustände der Körper zu erklären, Molekularkräfte annimmt, welche fortwährend zwischen den einzelnen Theilchen der Körper thätig sind. So lange nun ein Körper seinen inneren Zustand nicht ändert, so lange die einzelnen Theilchen nicht allein in unveränderter Entfernung, sondern auch in unveränderter gegenseitiger Lage bleiben, müssen sich offenbar die zwischen einzelnen Theilchen wirkenden Molekularkräfte das Gleichgewicht halten. Bei den festen Körpern nun ist das zwischen den einzelnen Theilchen bestehende Gleichgewicht ein stabiles, denn es ist ja eine größere oder geringere Kraft nöthig, um diesen Gleichgewichtszustand zu stören.

Bei festen Körpern ist der Gleichgewichtszustand zwischen den Molekularkräften von der Art, daß einer größeren Annäherung der Theilchen die alsdann das Uebergewicht erlangende Expansionskraft, einer Vermehrung ihres gegenseitigen Abstandes aber die Cohäsionskraft entgegenwirkt.

Elasticität. Wenn die Theilchen eines festen Körpers durch eine äußere 30
Kraft wirklich ein wenig aus ihrer gegenseitigen Lage verrückt worden sind, so ist deshalb der frühere Gleichgewichtszustand doch nicht völlig vernichtet; denn die Theilchen können in ihre frühere Lage zurückkehren, wenn die störende Kraft zu wirken aufhört. Diese Eigenschaft der Körper, vermöge deren die Theilchen in ihre frühere Gleichgewichtslage zurückkehren, wenn die durch äußere Kräfte veranlaßte Verschiebung gewisse Gränzen nicht überschritten hat, nennt man Elasticität. Die Elasticität der festen Körper beweist, daß sich die Theilchen in einem stabilen Gleichgewichtszustande befinden; denn nur für den Fall

des ſtabilen Gleichgewichts kehrt der Körper in ſeine Ruhelage zurück, wenn die Kräfte, welche ihn etwas daraus entfernten, zu wirken aufhören.

Nicht alle Körper ſind gleich elaſtiſch; es giebt Körper, deren Theilchen ſelbſt nach bedeutender Verſchiebung doch wieder vollkommen in ihre frühere Lage zurückkehren, und ſolche Körper, wie z. B. Federharz (gummi elasticum), Stahl, Elfenbein u. ſ. w., werden vorzugsweiſe elaſtiſch genannt; andere hingegen, wie Blei, Glas u. ſ. w., ſind nur in geringem Grade elaſtiſch, ſie können keine große Verſchiebung der Theilchen ertragen, ohne daß der frühere Gleichgewichtszuſtand aufgehoben wird.

Die Verſchiebung der Theilchen kann entweder durch Spannung, durch Zuſammendrückung oder durch Drehung hervorgebracht werden.

Wenn überhaupt eine große Kraft nöthig iſt, um eine Verſchiebung der Theilchen eines Körpers hervorzubringen, ſo nennt man ihn hart. Ein Körper kann hart und elaſtiſch ſein, wie dies beim Elfenbein, beim Stahl u. ſ. w. der Fall iſt; das Glas dagegen iſt hart und wenig elaſtiſch.

Ein Körper, deſſen Theilchen ſchon durch eine geringe Kraft verſchoben werden können, wird weich genannt. Auch die weichen Körper können entweder elaſtiſch ſein, wie z. B. Federharz, oder nur einen ſehr geringen Grad von Elaſticität beſitzen, wie dies z. B. beim feuchten Thon der Fall iſt. Der Aggregatzuſtand ſolcher weichen, mehr oder weniger breiartigen Körper kann gewiſſermaßen als ein Mittelzuſtand zwiſchen dem vollkommen feſten und dem vollkommen flüſſigen betrachtet werden.

Wenn die Theilchen eines Körpers über die Elaſticitätsgränze hinaus verſchoben werden, ſo hört entweder der Zuſammenhang ganz auf, oder die Theilchen ordnen ſich zu einem neuen ſtabilen Gleichgewichtszuſtande. Im erſteren Falle nennt man die Körper ſpröde, im letzteren dehnbar. Die äußere Geſtalt ſpröder Körper läßt ſich durch Druck, durch Stoß u. ſ. w. nicht bleibend ändern; wenn durch dieſe äußeren Urſachen die Theilchen ſpröder Körper über eine gewiſſe Gränze verſchoben werden, ſo brechen ſie; die Geſtalt dehnbarer Körper hingegen läßt ſich durch ſolche mechaniſche Mittel bleibend verändern, wie dies z. B. das Prägen der Münzen beweiſt.

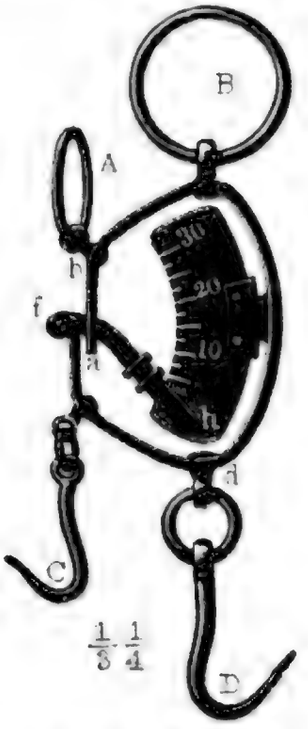
Die Briefwage, Fig. 57, und die Federwage, Fig. 58, können als Beiſpiele der Anwendung der Elaſticität dienen. Erſtere bedarf wohl keiner Erläuterung; letztere wird durch einen Stahlſtreifen $abcdf$ gebildet, welcher, ungefähr 2 Millimeter dick und 10 bis 14 Mill. breit, bei f den Drehpunkt des Zeigerhebels fh trägt. Dieſer Hebel liegt auf der unteren Kante eines in ba angebrachten Schlitzes auf. Das freie Ende des Hebels iſt geſchlitzt, ſo daß die eine Gabel auf die Vorderſeite, die andere auf die Rückſeite einer empiriſch getheilten Skale zeigt. Kleinere Laſten werden am Haken C befeſtigt, während die ganze Vorrichtung am Ringe A aufgehängt wird. Durch das an C hängende Gewicht wird f niedergezogen, ſo daß das freie Ende h des Zeigerhebels in die Höhe gehen muß, und zwar um ſo mehr, je ſchwerer die angehängte Laſt iſt, deren Größe man an der Skale ableſen kann. Für ſchwerere Laſten wird das Inſtrument am Ringe B auf- und die Laſt in den Haken D ein-

gehängt. Die Skale für schwerere Lasten befindet sich auf der Rückseite des Instrumentes.

Fig. 57.

$\frac{1}{3}$

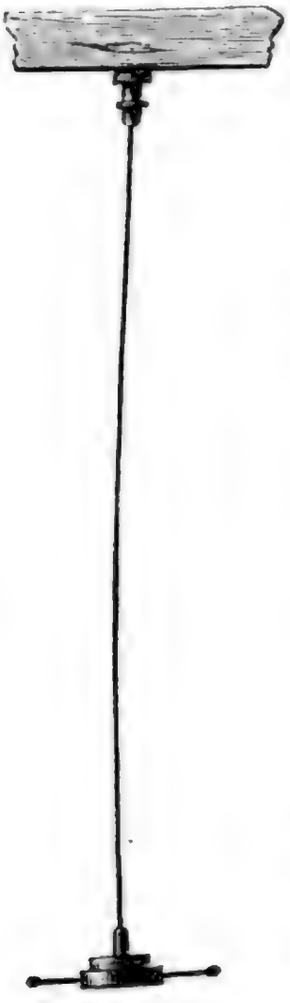
Fig. 58.



$\frac{1}{3}$ $\frac{1}{4}$

Diese Vorrichtung kann auch als Zugkraftmesser oder Dynamometer benutzt werden.

Fig. 59.



Wenn ein an seinem oberen Ende eingeklemmter Metalldraht durch angehängte Gewichte gestreckt wird, Fig. 59, so wird er sich bei einer bestimmten Lage dieses Gewichtes im Gleichgewichtszustande befinden. Dreht man das Gewicht um seine verticale Axe um eine beliebige Anzahl von Graden aus seiner Gleichgewichtslage heraus, so wird der Draht gewunden, er wird tordirt und die dadurch ins Spiel gesetzte Torsionselasticität äußert nun ein Streben, den Draht sammt dem angehängten Gewichte wieder in seine Gleichgewichtslage zurückzuführen. Sich selbst überlassen, kommt aber der Draht erst nach einer Reihe von Schwingungen in der Gleichgewichtslage zur Ruhe.

Die Kraft, mit welcher der tordirte Draht wieder in seine Gleichgewichtslage zurückzukehren strebt, ist der Größe der Drehung proportional.

Festigkeit. Die Kraft, mit welcher ein Kör- 31
per der Trennung seiner Theilchen widersteht, nennt man seine Festigkeit.

Der zwischen den einzelnen Theilchen eines festen Körpers stattfindende Zusammenhang läßt sich durch

Zerreißen, durch Zerbrechen, durch Zerwinden (Abdrehen) oder durch Zerdrücken aufheben.

Absolute Festigkeit nennt man die Kraft, mit welcher ein Körper dem Zerreißen widersteht, wenn er der Länge nach angespannt wird. Dieser Widerstand hängt aber offenbar von dem Querschnitt des zu zerreißenden Körpers ab, und zwar ist er diesem Querschnitt proportional; denn es muß ja der Zusammenhang von zwei-, drei-, viermal so vielen Theilchen aufgehoben werden, wenn der Querschnitt eines Körpers zwei-, drei-, viermal so groß ist. Um nun die absolute Festigkeit verschiedener Materialien leicht mit einander vergleichen zu können, muß man irgend eine Einheit für diesen Querschnitt annehmen und dann ermitteln, wie groß die Kraft ist, welche erfordert wird, um einen Stab des fraglichen Materials, dessen Querschnitt dieser Einheit gleich ist, zu zerreißen. Wenn der Querschnitt des dem Versuche unterworfenen Körpers auch größer oder kleiner ist als der zur Einheit angenommene Querschnitt, so läßt sich doch die Festigkeit auf diesen reduciren.

Schon Muschenbroek hat zahlreiche Versuche über die absolute Festigkeit verschiedener Körper angestellt. Die folgende Tabelle giebt für verschiedene Körper das nach seinen Versuchen berechnete Gewicht an, welches nöthig ist, um einen Stab zu zerreißen, dessen Querschnitt 1 Quadratcentimeter beträgt.

Lindenholz			918	Kilogramm
Kiefernholz (Pinus sylvestris)			1021	„
Weißtanne (Pinus abies)	601	bis	929	„
Eichenholz	1150	„	1466	„
Buchenholz	1349	„	1586	„
Ebenholz			934	„
Kupferdraht			2782	„
Messingdraht			3550	„
Golddraht			4645	„
Bleidraht			272	„
Zinndraht			457	„
Silberdraht			3411	„
Eisendraht			4182	„
Glas, weißes	142	bis	233	„
Hanfseile	350	„	620	„

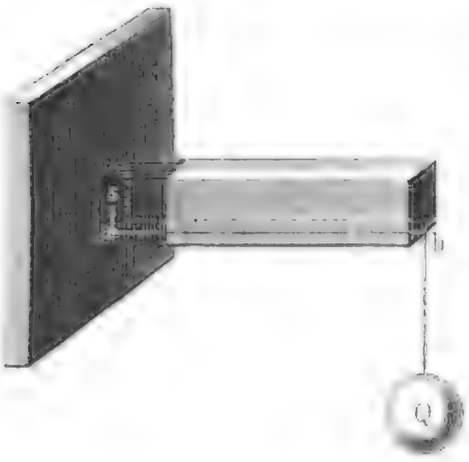
Die große Verschiedenheit in der Festigkeit der Hanfseile rührt von der ungleichen Beschaffenheit des Materials her, aus denen sie verfertigt sind. Dünne Seile sind verhältnißmäßig stärker als dicke, weil sie aus besserem Hanf gedreht sind; durch starkes Drehen der einzelnen Fäden wird die Tragkraft der Seile bedeutend vermindert. Nasse Seile haben eine geringere Festigkeit als trockene.

Bei praktischen Anwendungen wird man der Sicherheit wegen wohlthun, für Metalle höchstens $^1/_2$, für Hölzer nur $^1/_3$ der durch die Versuche ermittelten absoluten Festigkeit in Rechnung zu bringen.

Die Kraft, welche ein Körper dem Zerbrechen entgegensetzt, nennt man seine relative Festigkeit. Um einen Körper zu zerbrechen, ist die Kraft am besten rechtwinklig zu seiner Längenaxe anzubringen; der zu zerbrechende Körper ist entweder nur an einem, oder an zwei Enden unterstützt.

In Fig. 60 ist ein prismatischer Körper dargestellt, welcher mit dem einen Ende in einer festen Wand steckt, während am anderen Ende das Gewicht Q angebracht ist, welches ihn zerbrechen soll. Bezeichnen wir die absolute Festigkeit, d. h. die Kraft, mit welcher der Körper einer in seiner Längenaxe wirkenden Kraft widersteht, die ihn zu zerreißen strebt, mit K, so können wir uns diese Kraft in dem Schwerpunkte s desjenigen Querschnitts vereinigt denken, welcher mit der Ebene der festen Wand zusammenfällt. Das Gewicht Q äußert nun ein Bestreben, den ganzen Körper um die untere Kante dieses Querschnitts zu drehen, es wirkt also an dem Hebelarme ab, während der in s angebrachte Widerstand an dem Hebelarme as wirkt; wenn nun der Widerstand gerade der Kraft das Gleichgewicht halten soll, so muß sich der Widerstand K zur Kraft Q umgekehrt verhalten wie der Hebelarm as zum Hebelarme ab. Wenn die Höhe des Balkens mit h bezeichnet wird, so ist $as = {}^1/_2 h$; bezeichnet man ferner die Länge ab mit l, so hat man:

Fig. 60.



$$K : Q = l : {}^1/_2 h$$

oder

$$Q = \frac{K \cdot h}{2l}.$$

Die Größe der Festigkeit K, mit welcher der Körper dem Zerreißen widersteht, hängt aber von dem Querschnitte des Balkens ab. Bezeichnen wir mit k die absolute Festigkeit für einen Querschnitt von 1 Quadratcentimeter, mit h die Höhe, mit b die Breite des Balkens, so ist:

$$K = k\,b\,h,$$

also

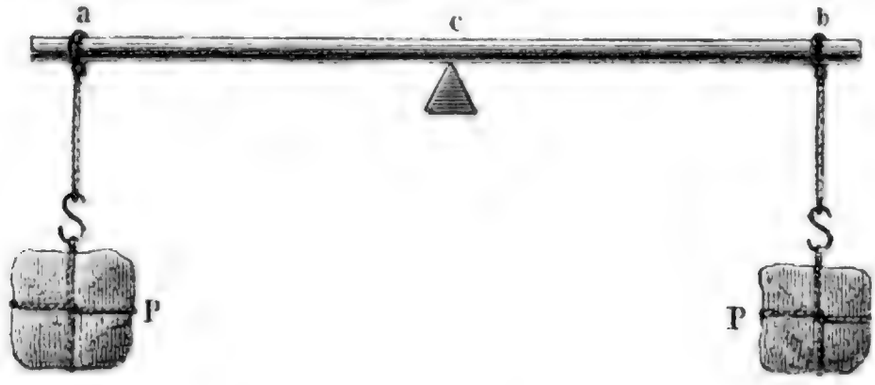
$$Q = \frac{k\,b\,h^2}{2\,l}.$$

Aus dieser Formel sieht man, daß die zum Abbrechen nöthige Kraft im geraden Verhältniß der Breite und des Quadrats der Höhe wächst, sich aber umgekehrt verhält wie die Länge.

Wenn ein Stab oder Balken in der Mitte seiner Länge durch eine scharfe Kante unterstützt und an seinen beiden Enden durch gleiche Gewichte P, Fig. 61 (a. f. S.), belastet ist, so werden diese ein Bestreben äußern, ihn in seiner Mitte zu zerbrechen, und zwar muß, um den Bruch wirklich herbeizuführen, das Gewicht

P, welches bei a und bei b wirkt, gerade so groß sein als das Gewicht Q, welches man bei b anbringen müßte, um den Stab bei c abzubrechen, wenn cb das frei aus einer Wand hervorragende Ende des Stabes wäre.

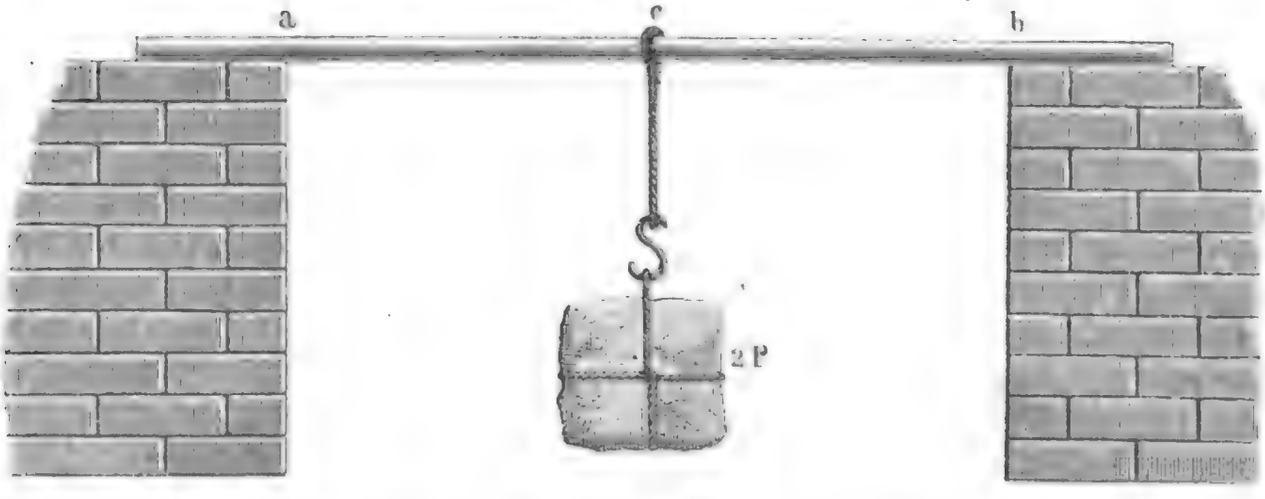
Fig. 61.



Der Druck, den die Unterlage in der Mitte bei c auszuhalten hat, ist offenbar $2P$.

Ist der Stab oder Balken an den beiden Enden unterstützt, wie Fig. 62, so kann man ihn dadurch zerbrechen, daß man eine Last $2P$ in der Mitte anhängt.

Fig. 62.



Wir haben bei unseren bisherigen Betrachtungen und Rechnungen ganz unberücksichtigt gelassen, daß sich die Balken vor dem förmlichen Abbrechen erst biegen. Durch diese Biegung wird aber die relative Festigkeit bedeutend modificirt, so daß die nach obigen Formeln aus der bekannten absoluten Festigkeit berechneten Werthe der relativen Festigkeit von der Wirklichkeit bedeutend abweichen können. Wenn aber diese Formeln auch nicht dienen können, um die Größe der relativen Festigkeit zu berechnen, so dienen sie doch, um die relative Festigkeit von Balken und Stäben zu vergleichen, wenn sie aus demselben Material verfertigt und wenn nur ihre Dimensionen verschieden sind; denn wie auch durch die Biegsamkeit die Größe der absoluten Festigkeit modificirt werden mag, so ist sie doch stets der Breite und dem Quadrat der Höhe direct der Länge aber umgekehrt proportional; in der Formel

$$Q = k \frac{b h^2}{2 l}$$

wird also durch die Biegsamkeit nichts verändert als der Werth des constanten Factors k, für welchen man nicht den der obigen Tabelle entnommenen Werth der absoluten Festigkeit, sondern einen anderen, für jedes Material durch die Erfahrung zu bestimmenden Factor setzen muß. Die Versuche zeigen, daß die Kraft, welche nöthig ist, um einen Balken zu zerbrechen, nahe viermal kleiner ist als die nach obiger Formel berechnete, wenn man für k den Zahlenwerth der absoluten Festigkeit setzt.

Welchen bedeutenden Einfluß die Biegsamkeit auf die relative Festigkeit ausübt, geht auch daraus hervor, daß, wenn ein Balken an seinen beiden Enden frei aufliegt, wie in Fig. 62, man, um ihn zu zerbrechen, in der Mitte nur ein halb so großes Gewicht anzuhängen braucht, als wenn er an seinen beiden Enden so befestigt ist, daß er durchaus nicht nachgeben kann.

Bei Hölzern hat natürlich auch die Richtung der Fasern einen bedeutenden Einfluß auf die Festigkeit.

Den Widerstand, welchen ein Körper dem Zerdrücken entgegensetzt, nennt man, nach Eytelwein, die rückwirkende Festigkeit.

Adhäsion. Dieselbe Kraft, welche die Theilchen eines festen Körpers 32
zusammenhält, wirkt auch, um die Theilchen zweier vorher getrennten Körper zusammenzuhalten, wenn man nur im Stande ist, sie in eine hinreichend innige Berührung zu bringen. So verbinden sich schon oft Spiegelplatten, welche nach dem Poliren dicht an einander gelegt worden sind, so innig mit einander, daß sie nicht mehr von einander getrennt werden können, ohne die Platten zu zerbrechen. Ebenso haften zwei Bleiplatten, die man zusammendrückt, fast so fest auf einander, als ob sie nur eine einzige Bleimasse ausmachten, vorausgesetzt, daß die Flächen, in welchen sich die beiden Bleistücke berühren, vollkommen eben und metallisch sind.

Dieses Aneinanderhaften zweier Körper wird mit dem Namen Adhäsion bezeichnet.

Die Adhäsion zeigt sich nicht allein zwischen gleichartigen, sondern auch zwischen verschiedenartigen Körpern. Eine Bleiplatte mit einer Zinnplatte oder eine Kupferplatte mit einer Silberplatte durch Glättwalzen gezogen, geben ein fast untrennbares Ganzes.

Besonders stark zeigt sich die Adhäsion, wenn ein flüssiger Körper mit einem festen in Berührung gebracht, und dann der flüssige Körper durch Erkalten oder durch Verdunstung des Lösungsmittels fest wird; hierauf beruht das Löthen, das Leimen und Kitten. Kittet man vermittelst Siegellacks zwei Glasstücke zusammen, so kommt es oft vor, daß sich beim Auseinanderreißen nicht das Glas vom Siegellack trennt, sondern daß Stücke aus dem Glase herausgerissen werden. Wenn man eine Glasplatte mit Leim bestreicht, so haftet dieser oft so fest am Glase, daß Stücke aus demselben (dem Glase) herausgerissen werden, wenn sich der Leim beim Austrocknen zusammenzieht.

Wenn zwei Körper mit ebenen Flächen auf einander liegen und man den einen über den anderen hinausschieben will, so setzt die Adhäsion dieser Bewegung ein Hinderniß entgegen; die Adhäsion hat also einigen Antheil am Reibungswiderstande, der überall da überwunden werden muß, wo zwei Körper über einander hingleiten oder wo sich ein Körper über einen anderen hinwälzt. Von der Reibung wird noch weiter unten die Rede sein.

33 **Krystallisation.** Wenn ein Körper aus dem flüssigen oder gasförmigen Zustande in den festen Zustand übergeht, so werden die bis dahin leicht an einander verschiebbaren Theilchen in einer bestimmten gegenseitigen Lage fixirt. In der ganzen Natur zeigt sich aber bei diesem Uebergange in den festen Zustand ein Bestreben der Theilchen, eine regelmäßige Anordnung hervorzubringen. In der unorganischen Natur bewirkt dieses Bestreben die Krystallisation.

Krystalle nennt man solche feste Körper, welche sich in regelmäßigen, durch ebene Flächen begränzten Gestalten gebildet haben. In der Natur findet man eine Menge solcher Krystalle; Quarz (Bergkrystall), Kalkspath, Schwerspath, Topas, Granat u. s. w. werden oft sehr schön krystallisirt gefunden.

Der Uebergang aus dem flüssigen in den festen Zustand findet entweder durch Erstarren eines geschmolzenen Körpers, oder durch Ausscheidung aus einer Auflösung Statt.

Wenn man geschmolzenes Wismuth in eine etwas erwärmte Schale gießt, so bildet sich nach einiger Zeit auf der Oberfläche eine feste Kruste. Wenn man nun diese Kruste durchsticht und das im Innern noch flüssige Metall abgießt, so erhält man mehrere Linien große würfelförmige Krystalle, die das Innere der Höhlung ausfüllen, welche durch die zuerst erkaltete feste Kruste eingeschlossen wird.

Auf ähnliche Weise kann man auch Krystalle aus einer geschmolzenen Schwefelmasse erhalten.

Wenn man mit Aufmerksamkeit ein gefrierendes Wasser beobachtet, so sieht man, wie feine Eisnadeln sich bilden, wie sie von einem Augenblicke zum anderen sich ausbreiten und verzweigen. Freilich sieht man hierbei selten so regelmäßige krystallinische Gestalten, wie man sie beim Schnee beobachtet; doch sieht man deutlich, daß die Eisbildung eine Krystallbildung ist.

Viele Körper lösen sich in Flüssigkeiten, namentlich in Wasser auf, und zwar läßt sich in einer bestimmten Menge Wasser nur eine bestimmte Menge irgend eines Stoffes auflösen; doch löst sich in warmem Wasser meistens mehr auf als in kaltem. Wenn nun eine Auflösung bei hoher Temperatur gesättigt ist, wenn man z. B. in einer bestimmten Menge warmen Wassers so viel Alaun aufgelöst hat als möglich, so kann diese Salzmasse nicht mehr ganz aufgelöst bleiben, wenn die Lösung erkaltet, ein Theil des Salzes wird sich wieder ausscheiden, und zwar schießt es in regelmäßigen Krystallen an. — Auch dann bilden sich Krystalle, wenn das Wasser einer gesättigten Lösung allmälig verdunstet.

Nicht allein aus wäſſerigen Löſungen ſcheiden ſich Kryſtalle aus; der Schwefel z. B. löſt ſich in Schwefelkohlenſtoff, in Chlorſchwefel, in Terpentinöl auf, und aus dieſen Löſungen kann man ſchöne durchſichtige Kryſtalle von Schwefel erhalten.

Die Kryſtalle werden um ſo größer und regelmäßiger, je langſamer die Erkaltung oder die Verdunſtung vor ſich geht. Bei ſchneller Kryſtalliſation bilden ſich kleine Kryſtalle, die ſich zu unregelmäßigen Gruppen zuſammenhäufen, an denen man oft kaum ein kryſtalliniſches Gefüge erkennen kann.

Jedem Stoff kommt eine eigenthümliche Kryſtallform zu; ſo iſt z. B. die Kryſtallform des Bergkryſtalls eine andere als die des Alauns, und dieſe wieder eine andere als die des Kupfervitriols.

Die Unterſuchung der Symmetriegeſetze, welche zwiſchen den einzelnen Kryſtallflächen ſtattfinden, ſowie die Beſchreibung der Kryſtallformen überhaupt iſt ein Gegenſtand, mit welchem ſich die Kryſtallographie zu beſchäftigen hat. Die Grundzüge derſelben werden in den Paragraphen 9, 10, 11 und 12 des Supplementbandes beſprochen.

Drittes Capitel.

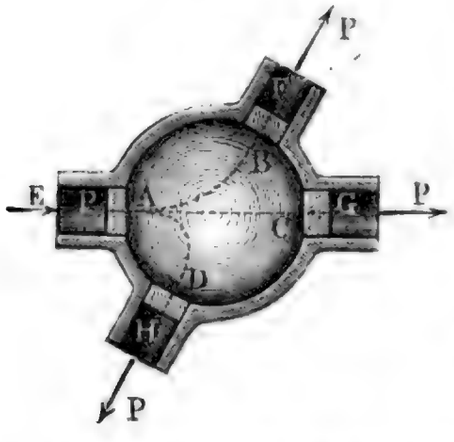
Hydrostatik oder die Lehre vom Gleichgewicht der Flüssigkeiten.

---

34 **Princip der Gleichheit des Drucks.** Flüssigkeiten haben in Folge der leichten Verschiebbarkeit der Theilchen die Eigenschaft, daß sie jeden Druck, welcher auf einen Theil ihrer Oberfläche ausgeübt wird, nach allen Seiten gleichmäßig fortpflanzen.

Es sei in Fig. 63. der horizontale Durchschnitt eines ganz mit Wasser gefüllten und vollkommen verschlossenen Gefäßes dargestellt, an welchem sich in gleicher Höhe vier vollkommen gleiche Röhren befinden, die durch Kolben verschlossen sind. Da diese Kolben gleichen Durchmesser haben und in ganz gleicher Höhe liegen, so haben sie auch vollkommen gleichen Druck durch die Schwere des Wassers auszuhalten, einen Druck, von welchem wir vor der Hand ganz absehen, den wir also als nicht vorhanden betrachten wollen.

Fig. 63.



Wird nun durch irgend eine Kraft einer der Kolben, etwa A, nach innen gedrückt, so pflanzt sich dieser Druck durch das Wasser hindurch auf die übrigen Kolben fort, und man müßte, um zu verhindern, daß diese Kolben herausgedrückt werden, auf jeden derselben einen nach innen gerichteten Gegendruck anbringen, welcher vollkommen dem auf den Kolben A wirkenden Drucke gleich ist; das Gleichgewicht kann also nur dann bestehen, wenn alle vier Kolben gleich stark nach innen gedrückt werden.

Der Druck pflanzt sich jedoch nicht allein vom Kolben A auf die übrigen Kolben, sondern auf alle Theile der Gefäßwand fort, so daß jeder Flächentheil der Gefäßwand, welcher eben so groß ist wie der Querschnitt des Kolbens, auch einen eben so großen Druck auszuhalten hat.

In Fig. 64 ist der Durchschnitt eines ähnlichen Gefäßes mit zwei Röhren dargestellt, welche gleichfalls mit Kolben geschlossen sein sollen; die Röhren und folglich auch der Querschnitt der Kolben sind aber nicht gleich. Es sei z. B. die Oberfläche des Kolbens C viermal so groß als die des Kolbens A, so wird, wenn irgend eine Kraft gegen den Kolben A drückt, der Gesammtdruck auf den Kolben C auch viermal so groß sein als der auf A wirkende, weil jedes Flächenstück des Kolbens C, welches der Oberfläche des Kolbens A gleich ist, einen eben so großen Druck auszuhalten hat als A.

Fig. 64.

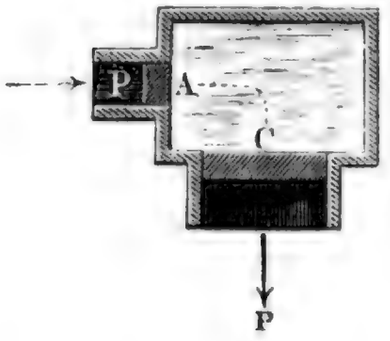
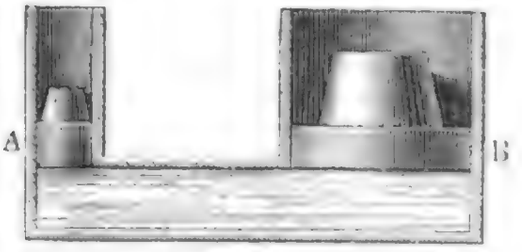


Fig. 65.



Wenn man also den Kolben A mit einer Kraft von 10 Pfund nach innen drückt, so müßte man zur Erhaltung des Gleichgewichts an dem Kolben C einen nach innen gerichteten Druck von 40 Pfund anbringen.

Der Druck pflanzt sich nicht allein in einer Horizontalebene fort, wie dies in den bisher betrachteten Beispielen der Fall war, sondern auch nach oben und nach unten.

Fig. 65 stelle den verticalen Durchschnitt zweier unten verbundener Röhren von ungleichem Querschnitt dar. Der die Röhren verbindende Raum sei mit Wasser gefüllt und auf dieses die Kolben A und B aufgesetzt. Wenn nun auf den Kolben A, dessen Querschnitt *zehnmal* kleiner sein mag als der des Kolbens B, ein Gewicht von 12 Pfund aufgelegt wird, so wird sich der Druck in der Weise bis zum Kolben B fortpflanzen, daß gegen jedes Flächenstück von B, welches eben so groß ist als der Querschnitt von A, ein nach oben gerichteter Druck von 12 Pfund wirkt; man muß also den Kolben B mit 120 Pfund belasten, wenn das Gleichgewicht ungestört bleiben soll.

Auf der gleichförmigen Fortpflanzung des Druckes durch Flüssigkeiten beruht die *hydraulische Presse*; sie besteht aus zwei Haupttheilen, einer Saug- und Druckpumpe, welche den Druck ausübt, und einem Kolben mit einer Platte, welche den Druck empfängt, um ihn auf den zu pressenden Körper zu übertragen. Fig. 67 (a. S. 63) ist ein Durchschnitt der hydraulischen Presse.

Fig. 66 eine äußere Anſicht der Druckpumpe von der rechten Seite der Fig. 67 aus geſehen. Durch den Hebel l wird der Kolben s gehoben, das Waſſer des Behälters b dringt durch das Sieb r, hebt das Ventil i und gelangt ſo unter den Kolben s. Wenn man den Hebel l niederdrückt, ſo geht auch der Kolben s nieder, das zurückgetriebene Waſſer ſchließt das Ventil i, hebt das Ventil d und gelangt durch die Röhre t in den Cylinder c der Preſſe; hier drückt es nun gegen den Kolben p, den es mit der Platte n hebt, und ſo wird der zu preſſende Körper zwiſchen n und der feſten Platte e zuſammengedrückt.

Wenn der Kolben s durch irgend eine Kraft niedergedrückt wird, ſo hat jeder Flächentheil der Gefäßwände, welcher dem Querſchnitt des Kolbens s gleich iſt, einen gleichen Druck auszuhalten. Iſt alſo der Querſchnitt des Kolbens p n mal ſo groß als der des Kolbens s, ſo wird der Kolben p mit einer Kraft nk gehoben, wenn der Kolben s mit einer Kraft k niedergedrückt wird.

Fig. 66.

Bezeichnen wir mit K den Druck, mit welchem der große Kolben gehoben wird, ſo iſt:

$$K = k \frac{R^2}{r^2},$$

wenn r den Halbmeſſer des kleinen, R den des großen Kolbens bezeichnet. Iſt nun ferner l der Hebelarm, an welchem der kleine Kolben angehängt iſt, L der Hebelarm, an welchem der Arbeiter drückt, ſo iſt:

$$k = D \frac{L}{l},$$

wenn D den Druck bezeichnet, welchen der Arbeiter ausübt, mithin haben wir

$$K = D \frac{L \,.\, R^2}{l \,.\, r^2}.$$

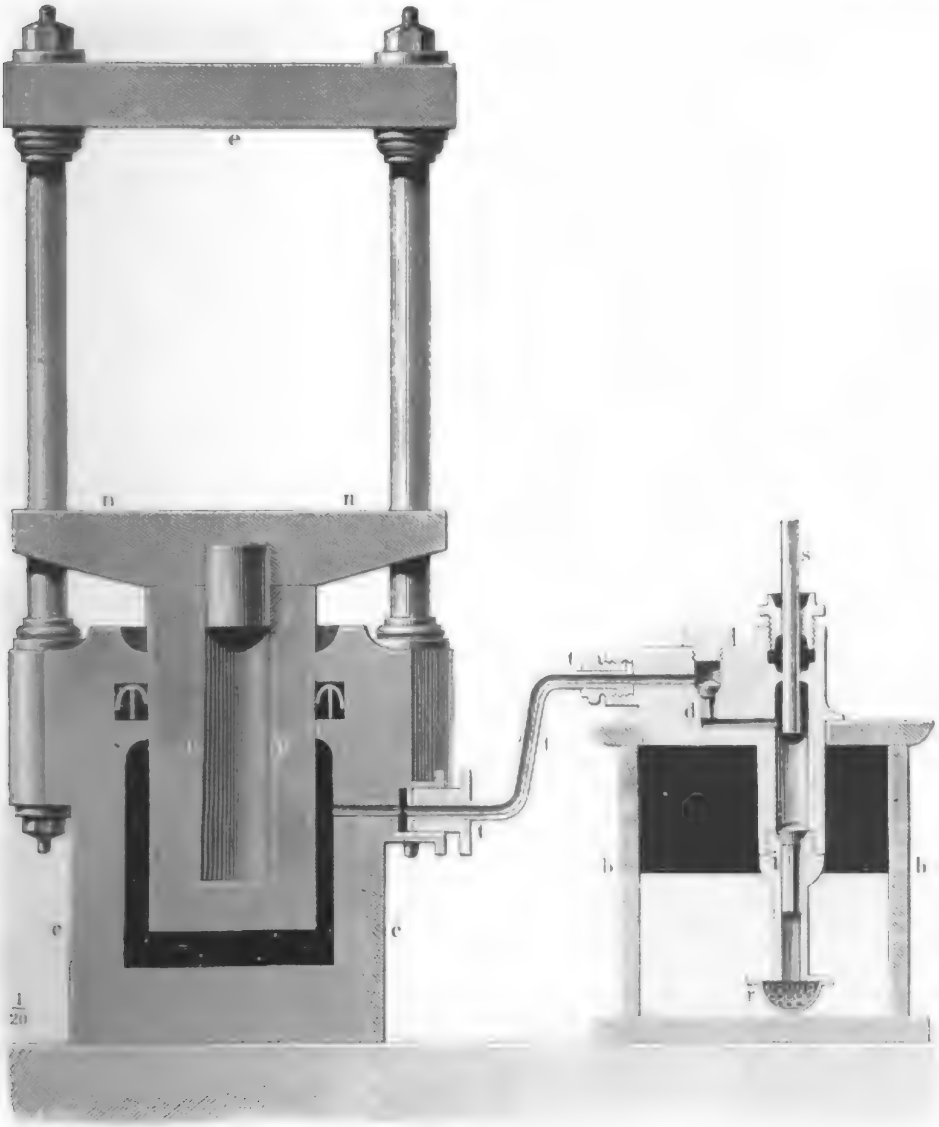
Iſt z. B. $R = 10\,r$ und $L = 6\,l$, ſo iſt:

$$K = D \,.\, 600.$$

Wenn also der Hebel bei l mit einer Kraft von 100 Pfund niedergedrückt wird, so wird der Kolben p mit einer Kraft von 60000 Pfund gehoben.

Von der Kraft, welche am Hebel l angewandt wird, geht ein Theil durch Reibungswiderstände verloren, bevor sie sich bis zum Kolben p fortpflanzt; des-

Fig. 67.



halb wird der Effect stets geringer sein, als er nach den eben angeführten Betrachtungen sein sollte.

Communicirende Gefässe. Denken wir uns in der Fig. 68 35
(a. f. S.) die Dicke der Kolben A und B auf Null reducirt, oder denken wir uns statt der Kolben nur Wasserschichten, so werden die Gleichgewichtsbedin-

gungen unverändert dieſelben bleiben. Wenn auf die Schicht AC, Fig. 69, irgend ein gleichförmiger Druck ausgeübt wird, ſo findet das Gleichgewicht nur

Fig. 68.

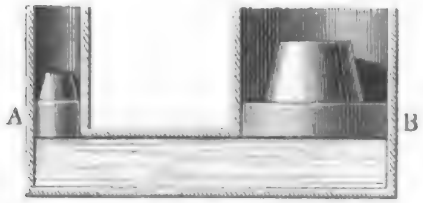
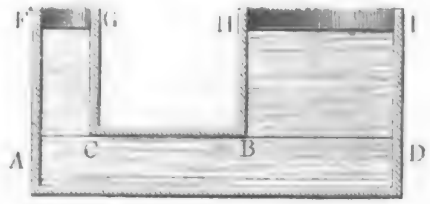


Fig. 69.



dann Statt, wenn auf die $n$mal größere Schicht BD ein auch ein $n$mal größerer Druck wirkt. Wird auf die Waſſerſchicht AC eine Waſſerſäule $ACFG$ aufgeſchüttet, ſo iſt es das Gewicht derſelben, welches auf AC drückt. Will man dieſem Druck durch eine auf BD laſtende Waſſerſäule das Gleichgewicht halten, ſo muß dieſe Waſſerſäule $BDHI$ nothwendig $n$mal ſo ſchwer ſein als $ACFG$. Soll aber die Waſſerſäule $BDHI$ wirklich $n$mal ſchwerer ſein als $ACFG$, ſo müſſen beide Waſſerſäulen gleiche Höhe haben, da ja die Grundfläche BD ſchon $n$mal größer iſt als die Grundfläche AC.

Für cylindriſche verticale Röhren, die unten auf irgend eine Weiſe mit einander in Verbindung ſtehen, gilt alſo das Geſetz, daß ſie bei gleicher Flüſſigkeit in beiden Schenkeln bis zu gleicher Höhe gefüllt ſein müſſen, wenn Gleichgewicht ſtattfinden ſoll, mag nun ihr Durchmeſſer gleich ſein oder nicht.

Auf dem Geſetze der communicirenden Röhren beruht auch die Anwendung der Waſſerwagen zum Abviſiren horizontaler Linien. Die Einrichtung dieſer Inſtrumente iſt wohl aus Fig. 70 ohne weitere Erklärung verſtändlich.

Fig. 70.

Nur bei ganz engen Röhren findet eine Abweichung von dem eben ausgeſprochenen Geſetze Statt, welche ſpäter beſprochen werden wird.

Sind Flüſſigkeiten von ungleichem ſpecifiſchen Gewichte in die beiden Schenkel gegoſſen, ſo ſind natürlich die Flüſſigkeitsſäulen, welche ſich das Gleichgewicht halten, nicht mehr gleich hoch, ſondern ihre Höhen verhalten ſich umgekehrt wie ihre ſpecifiſchen Gewichte.

In die heberförmig gebogene Röhre, Fig. 71, ſei z. B. Queckſilber und

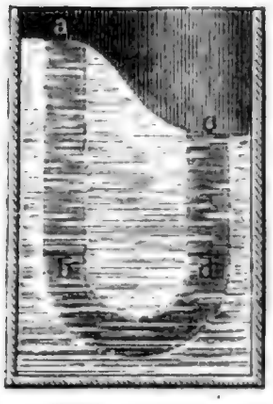
dann in den längeren Schenkel Wasser gegossen. Denken wir uns durch die Berührungsstelle von Quecksilber und Wasser eine horizontale Ebene BA gelegt, so wird alles Quecksilber unter BA für sich im Gleichgewicht sein, die Höhe der Quecksilbersäule EA ist aber für den Fall des Gleichgewichts beinahe 14mal geringer als die Höhe der Wassersäule BF im anderen Schenkel, weil das specifische Gewicht des Quecksilbers nahe 14mal so groß ist als das des Wassers.

Fig. 71.

Was man nun auch für verschiedene Flüssigkeiten anwenden mag, immer müssen sich die Höhen der Säulen umgekehrt wie ihre specifischen Gewichte verhalten. So hält z. B. eine 8 Zoll hohe Säule von concentrirter Schwefelsäure einer Wassersäule von 14,8 Zoll und eine 8 Zoll hohe Säule von Schwefeläther einer Wassersäule von 5,7 Zoll das Gleichgewicht.

Freie Oberfläche der Flüssigkeiten. Aus 36
dem Satze, welcher zu Anfang des vorigen Paragraphen bewiesen wurde, geht nun auch hervor, daß die freie Oberfläche einer Flüssigkeit in irgend einem Gefäße nothwendig horizontal sein muß. Wir können uns die ganze Flüssigkeitsmasse in eine beliebige Menge verticaler Säulchen zerlegt denken, und diese müssen sich unter einander nach dem Principe der communicirenden Röhren das Gleichgewicht halten. Hätte z. B. die Oberfläche der Flüssigkeit die Gestalt der Fig. 72, so können sich unmöglich die Wassersäulen cd und ab, welche zur Unterscheidung von der übrigen Wassermasse stärker schraffirt sind, das Gleichgewicht halten; es muß nothwendig ein Sinken der höheren und ein Steigen der niedrigeren erfolgen, bis die ganze Oberfläche rechtwinklig ist zur Richtung der Schwere.

Fig. 72.



Wenden wir dies auf die Oberfläche des Meeres an, welches wir als vollkommen ruhig betrachten wollen, so ist klar, daß, wenn die Schwerkraft allein wirkt und wenn sie stets nach dem Mittelpunkt der Erde gerichtet ist, die Oberflächen aller Meere Theile einer Kugeloberfläche sein müssen.

Bodendruck der Flüssigkeiten. Wenn flüssige Massen im 37
Gleichgewicht sind, so üben sie, in Folge ihrer Schwere, einen mehr oder minder bedeutenden Druck auf den Boden und die Seitenwände der Gefäße aus, in denen sie enthalten sind, dessen Werth wir nun bestimmen wollen. Zunächst wollen wir den Druck untersuchen, welcher von oben nach unten, oder von unten nach oben auf horizontale Flächen, alsdann den Druck, welcher auf die Seitenflächen ausgeübt wird.

In Gefäßen, die, wie in Fig. 73, 74 und 75, gleiche Grundflächen haben und bis zu gleicher Höhe mit Wasser gefüllt sind, hat der Boden gleichen Druck auszuhalten, mag nun das Gefäß oben weit oder eng, mag es gerade oder schräg sein.

Fig. 73.

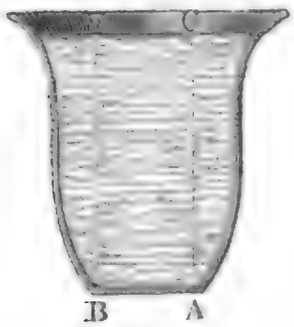
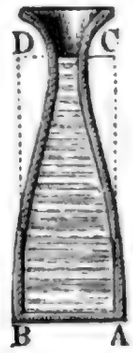


Fig. 74.

Fig. 75.



Der Druck, welchen der Boden eines mit Wasser gefüllten Gefäßes auszuhalten hat, ist gleich dem Gewichte einer verticalen Wassersäule, deren Grundfläche gleich ist jenem Boden und deren Höhe gleich ist der Tiefe des Bodens unter dem Wasserspiegel.

Der Druck, welchen die Boden der Gefäße Fig. 73, 74 und 75 auszuhalten haben, ist also gleich dem Gewichte der im Gefäß Fig. 74 enthaltenen Wassersäule.

Wenn man allgemein mit s den Flächeninhalt des Bodens, mit h die Höhe des Wasserspiegels über demselben und mit d das Gewicht der Raumeinheit der Flüssigkeit bezeichnet, so haben wir für den Druck P, welchen der Boden auszuhalten hat, die Gleichung

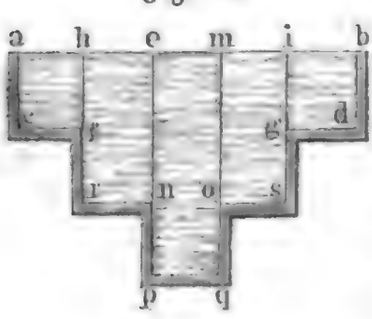
$$P = s \,.\, h \,.\, d \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

Ist z. B. der Flächeninhalt des Bodens 3 □′, die Höhe des Wasserspiegels über dem Boden 4′, so ist der Druck auf den Boden $3 \times 4 \times 66$ Pfd., da der Cubikfuß Wasser (preußisches Maß) 66 Pfund wiegt und die verticale Wassersäule $3 \,.\, 4 = 12$ Cubikfuß hält.

Daß der Druck auf den Boden eines geraden cylindrischen Gefäßes, wie Fig. 74, gleich dem Gewicht des darin enthaltenen Wassers ist, bedarf keines Beweises; daß aber der Druck auf den Boden der oben erweiterten, verengten und schrägen Gefäße derselbe ist, soll noch bewiesen werden.

Fig. 76 stellt ein Gefäß vor, welches sich in treppenförmigen Absätzen nach oben erweitert. Hier ist nun klar, daß das Bodenstück $p\,q$ nur die Last der Wassersäule $p\,q\,e\,m$ zu tragen hat, während das Gewicht der Wassermassen, welche die genannte Wassersäule umgeben, durch den Boden der treppenförmigen Absätze getragen wird. Das Gleiche gilt auch für das Gefäß Fig. 77, dessen Absätze nur kleiner sind als die des zuerst betrachteten Gefäßes. Der Boden $a\,b$ hat nur das Gewicht der Wassersäule $a\,b\,c\,d$ zu tragen.

Fig. 76.



Die Größe der Absätze hat auf die Richtigkeit dieser Betrachtung keinen Einfluß; unsere Schlüsse gelten also auch noch, wenn die einzelnen treppenförmigen Absätze verschwindend klein werden, sie gelten also auch noch für ein oben erweitertes Gefäß von der Form Fig. 73.

Fig. 78 stellt ein unten weites Gefäß dar, an welchem sich oben eine engere Röhre ansetzt. Das Gefäß sei bis fg mit Wasser gefüllt. Der Boden ab hat zunächst das Gewicht der Wassersäule $abcd$ zu tragen. Diese ist aber selbst durch die Wassersäule hg gedrückt, deren Gewicht auf die Wasserschicht he preßt. Der auf he lastende Druck pflanzt sich nun durch das Wasser in $abcd$ in der Art gleichförmig fort, daß jeder Theil des Bodens ab, welcher eben so groß ist wie he, einen dem Gewicht der Wassersäule $fghe$ gleichen Druck auszuhalten hat. Jedes Flächenstück des Bodens, welches gleich ist he, hat demnach einen Gesammtdruck auszuhalten, welcher gleich ist dem Gewicht einer verticalen Wassersäule, deren Basis gleich he, deren Höhe aber gleich $ac + hf$ ist; daraus folgt nun ferner, daß der Gesammtdruck, welchen der Boden ab auszuhalten hat, gleich ist dem Gewichte einer geraden Wassersäule, deren Basis ab und deren Höhe am ist.

Fig. 77.

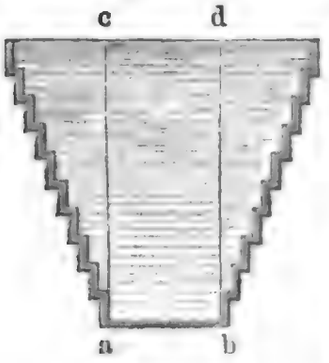
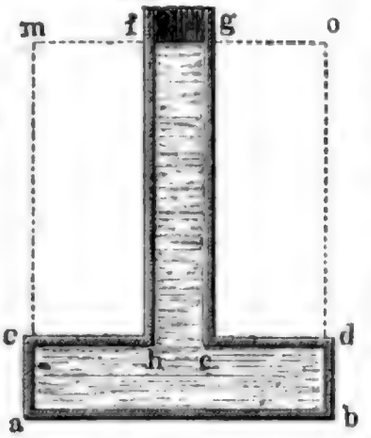


Fig. 78.



Darauf gründet sich die Real'sche Presse.

Wenden wir diese Schlüsse auf das Gefäß Fig. 79 an, welches bis oben hin mit Wasser gefüllt sein soll, so ergiebt sich, daß auch hier der Druck auf den Boden ab gleich ist dem Gewichte einer verticalen Säule, deren Basis ab und deren Höhe ac ist.

Nach derselben Schlußweise läßt sich darthun, daß der Boden ab des Gefäßes Fig. 80 ein Gewicht zu tragen habe, welches gleich ist dem der geraden Wassersäule $abcd$. Da aber diese Schlüsse von der Größe der Absätze ganz unabhängig sind, da sie auch für verschwindend kleine Absätze gelten, so folgt, daß auch der Boden der Gefäße Fig. 81 und 82 einen Druck auszuhalten habe, als ob auf demselben eine volle gerade Wassersäule von der gleichen Höhe ruhe, bis zu welcher das Gefäß gefüllt ist.

Fig. 79.

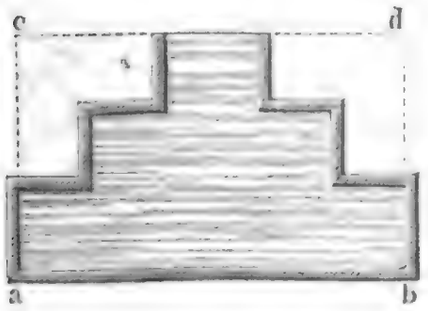


Fig. 80.

Fig. 81.

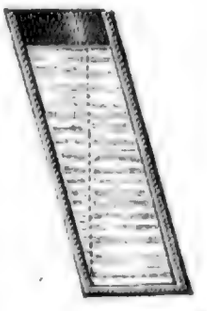
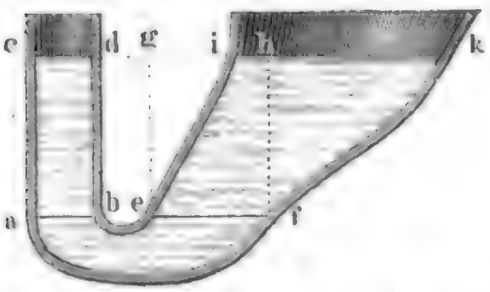


Fig. 82.

Kurz, der Druck, den der Boden eines mit Wasser gefüllten Gefäßes auszuhalten hat, ist von der Form dieses Gefäßes ganz unabhängig, er hängt bloß von der Größe des Bodens und seiner Tiefe unter dem Wasserspiegel ab.

Aus dem Gesagten folgt nun ferner, daß der Satz, welcher in §. 34 nur für gerade cylindrische Gefäße bewiesen wurde, ganz allgemein wahr ist, daß in communicirenden Gefäßen für den Fall des Gleichgewichts der Spiegel der Flüssigkeit in gleicher Höhe sein muß, welches auch übrigens die Gestalt der Gefäße sein mag. Dem Druck der Wassersäule $a\,b\,c\,d$, Fig. 83, wird das Gleichgewicht gehalten, wenn auf $e\,f$ ein Druck wirkt, welcher dem Gewichte der verticalen Wassersäule $e\,f\,g\,h$ gleich ist. Nun aber übt ja, wie wir eben gesehen haben, die unregelmäßig geformte schräge Wassersäule $e\,f\,i\,k$ auf ihre Grundfläche $e\,f$ genau denselben Druck aus, wie die gleich hohe gerade Säule $e\,f\,g\,h$, folglich muß in der That in beiden Schenkeln unseres Gefäßes das Wasser gleich hoch stehen, wenn Gleichgewicht stattfinden soll.

Fig. 83.



38 **Seitendruck.** Es ist eine Folge der gleichförmigen Fortpflanzung des Drucks durch Flüssigkeiten, daß auch die Seitenwände der mit Flüssigkeiten gefüllten Gefäße einen Druck auszuhalten haben, wie sie auch gegen die Horizontale geneigt sein mögen, und zwar hat ein jeder Punkt der Seitenwand einen Druck auszuhalten, welcher eben so groß ist, wie wenn er bei gleicher Tiefe unter dem Wasserspiegel sich in einem horizontalen Boden befände. Ist s der Flächeninhalt eines kleinen Stücks der Seitenwand, h die Tiefe seines Schwerpunktes unter dem Flüssigkeitsspiegel, so ist der Druck, den es auszuhalten hat, gleichfalls

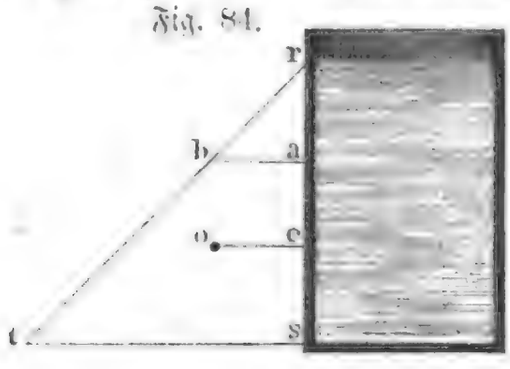
$$P = s \,.\, h \,.\, d,$$

wo d dieselbe Bedeutung hat wie im vorigen Paragraphen.

In einem 10 Meter hohen Behälter voll Wasser ist der Druck auf 1 Quadratcentimeter der Seitenwand in einer Tiefe von 1 Meter gleich 100 Gramm, in einer Tiefe von 2 Metern gleich 200 Gramm, in einer Tiefe von 10 Metern, also am Boden, gleich 1000 Gramm.

Der Druck, den irgend ein Punkt a der verticalen Wand eines mit Flüssigkeit gefüllten Gefäßes auszuhalten hat, läßt sich durch Zeichnung (Fig. 84) anschaulich machen. Man ziehe in a eine wagerechte Linie und mache ihre Länge $a\,b$ gleich der Tiefe des Punktes a unter dem Wasserspiegel, so kann die Linie $a\,b$ den Druck repräsentiren, den der Punkt a auszuhalten hat. Macht man dieselbe Construction für mehrere Punkte der verticalen Linie $r\,s$, so werden die Endpunkte aller der horizontalen

Fig. 84.



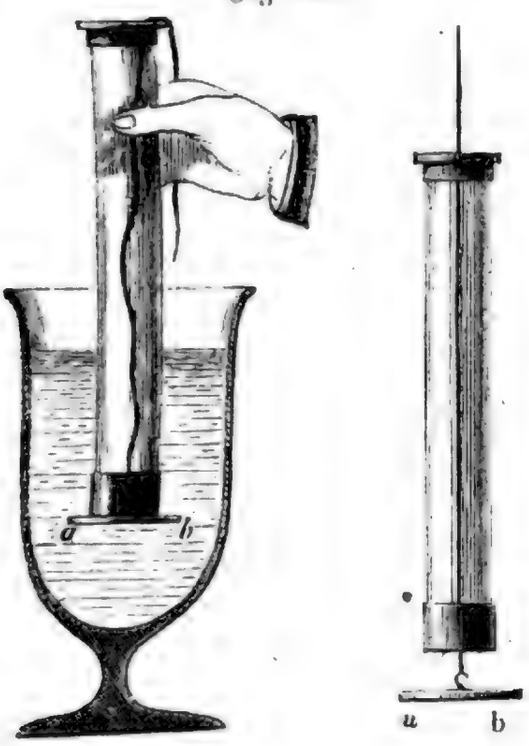
Drucklinien in die Linie rt fallen. Es folgt daraus, daß der Gesammtdruck, welchen die Linie rs der verticalen Gefäßwand auszuhalten hat, durch das Dreieck rst repräsentirt ist.

Der Angriffspunkt der Resultirenden aller elementaren Pressungen, welche ein Wandstück auszuhalten hat, heißt Mittelpunkt des Drucks. Er liegt immer tiefer als der Schwerpunkt des Flächenstücks, weil ja die Stärke des Drucks nach unten wächst. Der Mittelpunkt des Drucks für die verticale Linie rs ist leicht zu ermitteln; denn es ist offenbar derjenige Punkt e, in welchem die Linie rs von derjenigen horizontalen Linie getroffen wird, die durch den Schwerpunkt o des Dreiecks rst geht. Wir haben hier nur eine Linie rs betrachtet; nehmen wir statt derselben einen beliebig breiten Streifen der verticalen Wand, so liegt der Mittelpunkt des Drucks für denselben auf seiner verticalen Mittellinie, und zwar ist seine Höhe über dem Boden $^1/_3$ der Höhe, in welcher sich der Wasserspiegel über dem Boden befindet, d. h. es ist $se = {}^1/_3\, sr$.

Druck im Innern der Flüssigkeiten, Auftrieb. Jede Schicht 39
im Innern einer Flüssigkeit wird von beiden Seiten mit gleicher Kraft gedrückt; eine horizontale Schicht im Innern der Flüssigkeit z. B. hat von oben das Gewicht der darauf lastenden Wassersäule zu tragen; dieser Druck ist aber durch einen ganz gleichen, von den benachbarten Wassersäulen herrührenden, von unten her wirkenden äquilibrirt. Daß im Innern der Flüssigkeit ein solcher nach oben wirkender Druck wirklich vorhanden ist, läßt sich leicht durch den Versuch zeigen.

Das untere Ende einer ungefähr $1^1/_2$ Zoll weiten Glasröhre ist mit einer Messingfassung versehen, wie dies Fig. 85 zeigt. Der Rand derselben ist genau eben abgeschliffen. ab ist eine Metallscheibe, welche in ihrer Mitte einen Haken hat, so daß man sie an eine Schnur anhängen kann, welche durch die Röhre hindurchgeht. Wenn man den Faden anzieht, so verschließt die Scheibe die untere Oeffnung der Röhre vollkommen. Auf diese Weise verschlossen, wird die Röhre in das Wasser eingetaucht. Nun ist es nicht mehr nöthig, den Faden anzuziehen, um das Herunterfallen der Scheibe zu verhindern, weil sie durch die Flüssigkeit nach oben gedrückt wird. Gießt man Wasser in die Röhre, so wird die Scheibe durch ihr eigenes Gewicht fallen, sobald das Niveau des Wassers in der Röhre dem äußern fast gleich ist; denn nun erleidet sie durch die Flüssigkeit gleichen Druck nach unten und nach oben.

Fig. 85.



Dieser Druck, welchen die untere Fläche jedes in eine Flüssigkeit eingetauchten Körpers auszuhalten hat, und welcher ein Bestreben äußert, den Körper in die Höhe zu treiben, heißt der Auftrieb.

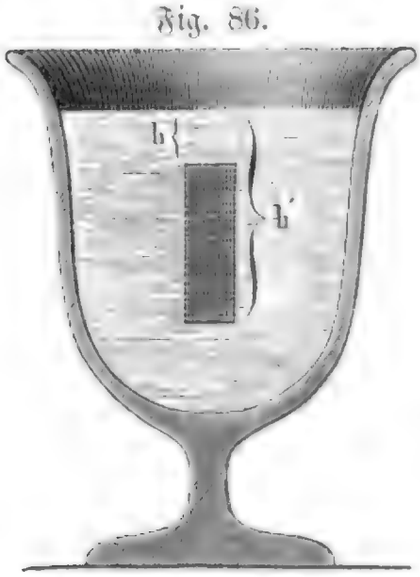
40 **Das archimedische Princip.** In Folge des Auftriebs wird jeder in einer Flüssigkeit untergetauchte Körper einen Theil seines Gewichts verlieren, und zwar ist dieser Gewichtsverlust gerade so groß als das Gewicht des aus der Stelle getriebenen Wassers.

Oder richtiger gesagt: Wenn ein Körper in eine Flüssigkeit eingetaucht ist, so wird ein Theil seines Gewichts von der Flüssigkeit getragen, welcher dem Gewichte der aus der Stelle getriebenen Flüssigkeit gleich ist.

Dieses wichtige Gesetz führt nach seinem Entdecker den Namen des archimedischen Princips.

Man kann sich von der Richtigkeit dieses Princips durch eine einfache Betrachtung überzeugen. Wenn ein gerades Prisma vertical in die Flüssigkeit eingetaucht ist, wie es Fig. 86 zeigt, so ist jeder Druck auf die Seiten des Prismas durch einen gleichen und entgegengesetzten aufgehoben, die obere Fläche aber erleidet den Druck einer Flüssigkeitssäule, welche mit dem Prisma gleiche Grundfläche und die Höhe h hat. Die untere Fläche dagegen wird von unten nach oben mit einer Kraft gedrückt, welche den Gewichte einer Flüssigkeitssäule von derselben Basis und der Höhe h' gleich ist. Ist b die Basis des Prismas, so ist bh der nach unten wirkende, auf der oberen Fläche lastende Druck, bh' der gegen die untere Fläche des Prismas nach oben wirkende Druck, also $b\,(h' - h)$ der Ueberschuß des letzteren, welchen wir als Auftrieb bezeichnet haben. Dieser Auftrieb ist aber gleich dem Gewichte einer Wassersäule von der Basis b und der Höhe $h' - h$, also gleich dem Gewichte des durch das Prisma verdrängten Wassers.

Fig. 86.



Es sei z. B. die Basis jenes Prismas 1 Quadratcentimeter, seine Höhe 10 Centimeter, die obere Fläche befinde sich 3 Centimeter unter dem Niveau des Wassers, so hat die obere Fläche den Druck einer Wassersäule von 1 Quadratcentimeter Grundfläche und 3 Centimeter Höhe, also das Gewicht von 3 Cubikcentimetern Wasser, d. h. 3 Grammen, zu tragen. Die untere Fläche ist aber 13 Centimeter unter dem Wasserspiegel, sie hat also einen von unten nach oben wirkenden Druck auszuhalten, welcher gleich dem Gewichte einer Wassersäule von 1 Quadratcentimeter Basis und 13 Centimeter Höhe ist, also 13 Gramme beträgt. Zieht man von diesen 13 Grammen die Größe des Drucks von 3 Grammen ab, welcher auf die obere Fläche nach unten wirkt, so bleiben 10 Gramme

für die Kraft, mit welcher das Prisma durch den Druck des Wassers nach oben getrieben wird. 10 Gramme aber ist das Gewicht einer Wassersäule, welche mit dem Prisma gleiches Volumen hat. Bestände dieses Prisma aus Marmor, so würde es 27 Gramme wiegen; in Wasser eingetaucht hat es aber einen nach oben gerichteten Druck von 10 Grammen auszuhalten, folglich wird es sich im Wasser gerade so verhalten, als ob es um 10 Gramme leichter geworden wäre.

Nehmen wir statt eines solchen Prismas ein Bündel von mehreren, so ist klar, daß jedes einzelne Prisma durch das Eintauchen in Wasser von seinem Gewichte so viel verliert, als ein gleiches Volumen Wasser wiegt; folglich ist auch der Gewichtsverlust, welchen der ganze, aus mehreren Prismen zusammengesetzte Körper erleidet, gleich dem Gewichte einer Wassermasse, deren Volumen dem Gesammtvolumen aller Prismen gleich ist. Da man sich aber einen jeden Körper in eine Menge solcher vertical stehenden Prismen von sehr kleinem Durchmesser zerlegt denken kann, so läßt sich unser Schluß auf jeden beliebigen Körper ausdehnen.

Eine ganz andere Schlußweise führt uns zu demselben Resultate. Denken wir uns, der Raum, den der in Wasser eingetauchte Körper einnimmt, sei selbst mit Wasser angefüllt, so wird dieser Wasserkörper in der übrigen Wassermasse schweben, er wird nicht steigen und nicht sinken. Denken wir uns nun den Wasserkörper durch einen anderen ersetzt, der bei gleichem Volumen gleiches Gewicht mit dem Wasserkörper hat, so wird auch dieser schweben, sein ganzes Gewicht wird also durch das Wasser, in welches er eingetaucht ist, getragen. Somit ist klar, daß allgemein von dem Gewichte eines jeden in Wasser eingetauchten Körpers ein Theil durch das Wasser getragen wird, welcher dem Gewichte des verdrängten Wassers gleich ist.

Von der Wahrheit des archimedischen Princips kann man sich auch direct durch den Versuch überzeugen. An der einen Wagschale einer gewöhnlichen Wage ist ein hohler Cylinder c, Fig. 87 (a. f. S.), angehängt, an welchem wieder ein massiver Cylinder p hängt, welcher genau die Höhlung des oberen ausfüllt. Auf die andere Wagschale legt man nun so viel Gewichte, daß das Gleichgewicht hergestellt ist. Taucht man aber nun den Cylinder p in Wasser, so verliert er dadurch einen Theil seines Gewichtes, das Gleichgewicht ist also gestört; um es von Neuem wieder herzustellen, braucht man nur den Cylinder c voll Wasser zu gießen, was offenbar zeigt, daß p durch das Eintauchen in Wasser gerade so viel an Gewicht verloren hat, als das Wasser wiegt, welches den Cylinder c ausfüllt. Das Volumen des in c befindlichen Wassers ist aber dem Volumen des Wassers gleich, welches der Cylinder p aus der Stelle treibt; mithin ist der Gewichtsverlust gleich dem Gewichte des aus der Stelle vertriebenen Wassers.

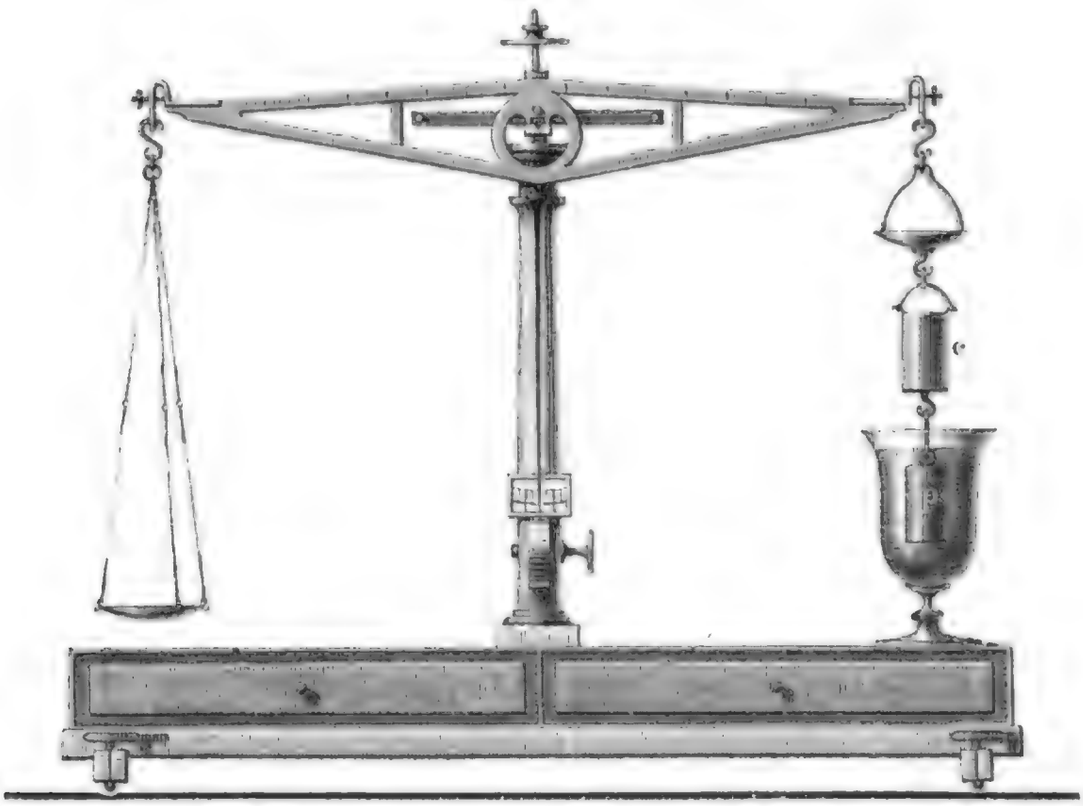
Bezeichnen wir das Gewicht eines Körpers mit G, den Gewichtsverlust, den er durch Untertauchen unter Wasser erleidet, mit W, so ist die Kraft K, mit welcher der Körper sinkt,

$$K = G - W \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

Sobald nun der Körper schwerer ist als ein gleiches Volumen Wasser, so

lange also $G > W$, ist der Werth von K positiv, der Körper wird wirklich sinken und kann erst ins Gleichgewicht kommen, wenn er auf dem Boden liegt oder auf andere Weise aufgehalten wird.

Fig. 87.



Ist $G = W$, so ist $K = 0$, der Körper wird im Wasser schweben, ohne zu sinken, aber auch ohne zu steigen.

Ist aber endlich $G < W$, d. h. ist der untergetauchte Körper leichter als ein gleiches Volumen Wasser, so wird K negativ, der Körper wird nicht sinken, sondern er wird durch das Ueberwiegen des Auftriebs in die Höhe steigen; ein Gleichgewichtszustand kann erst eintreten, wenn der Körper so weit aus der Oberfläche des Wassers hervorragt, daß das Gesammtgewicht des Körpers gleich ist dem Gewichte des durch den untergetauchten Theil verdrängten Wassers, der Körper wird also schwimmen.

Auf einen schwimmenden Körper wirken zwei Kräfte in entgegengesetzter Richtung; sein Gewicht, im Schwerpunkt des Körpers angreifend, zieht ihn nach Unten, der Auftrieb im Schwerpunkt der verdrängten Wassermasse, oder richtiger gesagt, in dem Punkte angreifend, welcher der Schwerpunkt des untergetauchten Körpertheils sein würde, wenn dieses untergetauchte Stück eine vollkommen gleichartige Masse wäre, treibt den Körper nach Oben. Den Angriffspunkt des Auftriebs bezeichnet man auch mit dem Namen Mittelpunkt des Wasserdrucks.

Es schwimme z. B. auf Wasser eine unten zugeschmolzene Glasröhre, Fig. 88, deren Schwerpunkt s durch Schrotkörner oder Quecksilber sehr tief liegt. Der Angriffspunkt des Auftriebs liegt in m, dem geometrischen Mittelpunkte des untergetauchten Theils.

Ein ſchwimmender Körper iſt im Gleichgewichte, wenn ſein Schwerpunkt und der Angriffspunkt des Auftriebs in einer und derſelben Verticallinie liegen; und dieſes Gleichgewicht iſt jedenfalls ein ſtabiles, wenn s tiefer liegt als m.

Für ein ſtabiles Schwimmen iſt es jedoch nicht unbedingt nöthig, daß der Schwerpunkt des Körpers tiefer liegt als der Angriffspunkt des Auftriebs, es genügt, daß der Schwerpunkt des ſchwimmenden Körpers tiefer liegt als ein anderer Punkt, welcher den Namen des Metacentrums führt.

Fig. 88.

Fig. 89.

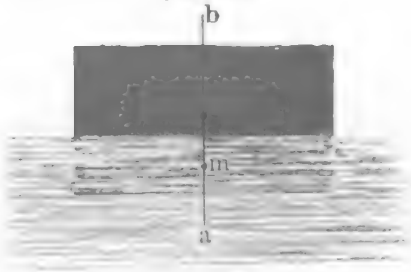
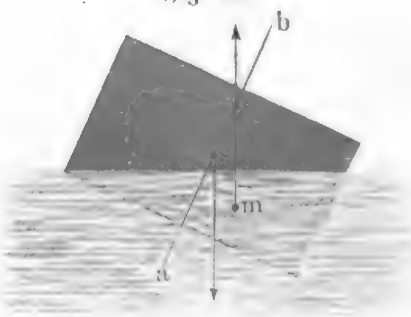


Fig. 90.



Die Lage des Metacentrums iſt in folgender Weiſe beſtimmt: Denken wir uns den Schwerpunkt s eines Körpers und den Punkt m, welcher den Angriffspunkt des Auftriebs in dem Falle bildet, daß der Körper in ſeiner Gleichgewichtslage ſchwimmt, wie Fig. 89, durch eine gerade Linie verbunden, ſo können wir dieſe Linie ab als Mittellinie des Körpers bezeichnen. Wird der ſchwimmende Körper aus ſeiner Gleichgewichtslage herausgebracht (Fig. 90), ſo nimmt die Mittellinie ab eine ſchräge Stellung an, zugleich aber nimmt der Angriffspunkt des Auftriebs eine andere Stelle ein, er rückt in unſerem Beiſpiel in den Punkt m, Fig. 90. Ein durch den neuen Angriffspunkt des Auftriebs gelegtes Perpendikel ſchneidet nun die Mittellinie ab in einem Punkte q, und dieſer Punkt q iſt das Metacentrum.

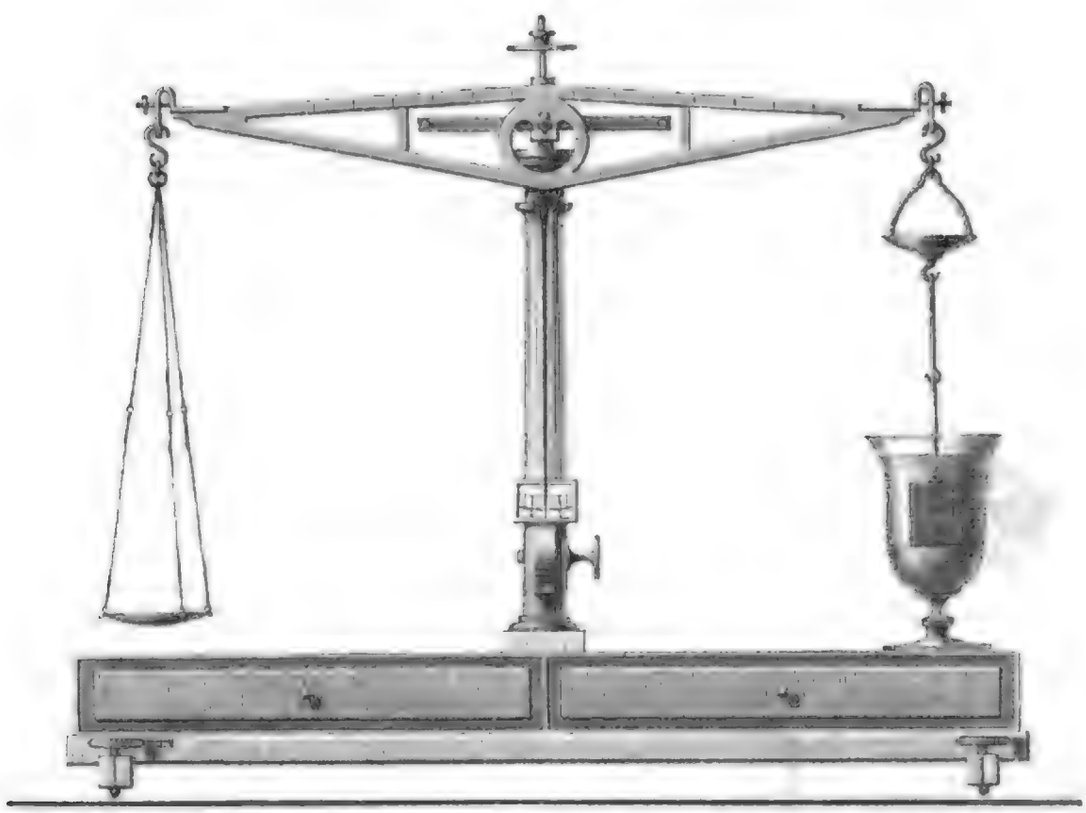
Ein Körper ſchwimmt alſo ſtabil, ſo lange ſein Schwerpunkt unter dem Metacentrum, er ſchwimmt nicht ſtabil und muß umſchlagen, wenn ſein Schwerpunkt über dem Metacentrum liegt.

Anwendung des archimedischen Princips. Das archi- 41
mediſche Princip bietet uns ein Mittel, das ſpecifiſche Gewicht feſter und flüſ-

siger Körper zu bestimmen, da man durch den Gewichtsverlust des eingetauchten Körpers das Gewicht der verdrängten Flüssigkeitsmasse erfährt.

Um den Gewichtsverlust, welchen ein Körper beim Eintauchen in Wasser erleidet, mittelst einer Wage bestimmen zu können, wird an derselben eine kleine Veränderung angebracht, wodurch sie in eine sogenannte hydrostatische Wage umgewandelt wird. Man ersetzt nämlich die eine Wagschale durch eine andere, an der sich unten ein Häkchen befindet, an welches der zu bestimmende Körper mittelst eines möglichst feinen Drahtes gehängt werden kann, Fig. 91. Ist dies geschehen, so kann man durch Auflegen von Gewichten auf die andere Wagschale

Fig. 91.



das absolute Gewicht g des Körpers bestimmen. Taucht man ihn nun in Wasser ein, so muß man, um das Gleichgewicht der Wage wieder herzustellen auf die Wagschale, an welcher der Körper angehängt ist, ein Gewicht a zulegen; a ist also der Gewichtsverlust, welchen der Körper beim Eintauchen in Wasser erleidet, folglich

$\frac{g}{a}$ sein specifisches Gewicht.

42 **Nicholson's Aräometer.** Zur Bestimmung des specifischen Gewichts fester Körper kann statt der Wage das Nicholson'sche Aräometer angewandt werden, welches in Fig. 92 abgebildet ist.

An einem hohlen auch oben und unten geschlossenen Cylinder B von Messingblech ist unten ein Sieb C angehängt, oben aber ein feines Stäbchen befestigt, welches einen Teller trägt, auf den man kleinere Körper und Gewichte legen kann. In Wasser eingetaucht, schwimmt das Instrument aufrecht, weil dafür gesorgt ist, daß sein Schwerpunkt möglichst tief liegt. Das Instrument ist so

eingerichtet, daß der oberste Theil des Körpers B noch aus dem Wasser herausragt. Legt man nun den Körper, dessen specifisches Gewicht man bestimmen will, etwa ein Mineral, auf den Teller, so sinkt das Instrument weiter ein, und durch ferneres Auflegen von Tarirgewichten kann man es leicht dahin bringen, daß es genau bis zu einem Punkte O eingesenkt ist, welchen man auf irgend eine Weise (gewöhnlich durch einen Feilstrich) auf dem Stäbchen markirt hat. Man nimmt nun das Mineral weg und legt statt dessen so viel Gewicht auf, bis das Instrument wieder genau bis O einsinkt. Auf diese Weise erhält man das absolute Gewicht des Körpers. Es betrage n Milligramme.

Fig. 92.

Hat man auf diese Weise das absolute Gewicht des Minerals bestimmt, so werden die n Milligramme wieder weggenommen und der Körper in das Sieb gelegt. Das Instrument würde nun wieder bis O einsinken, wenn der in das Sieb C gelegte Körper nicht dadurch, daß er jetzt in Wasser eingetaucht ist, an Gewicht verlöre. Man wird also auf den Teller noch Gewichte, m Milligramme, auflegen müssen, damit das Instrument wieder bis zur Marke eingetaucht ist. Man hat auf diese Weise das absolute Gewicht des Körpers n und das Gewicht m eines gleichen Volumens Wasser ermittelt; das gesuchte specifische Gewicht ist also $\frac{n}{m}$.

Es sei z. B. das specifische Gewicht eines Stückes Flußspath zu bestimmen. Man hat ihn auf den Teller gelegt und so viel Tarirgewicht zugefügt, daß das Instrument bis O einsinkt. Nachdem der Flußspath weggenommen worden, hatte man statt seiner 12 Gramme aufzulegen, damit das Aräometer eben so weit einsank; es beträgt also sein absolutes Gewicht 12 Gramme. Diese werden wieder weggenommen und der Flußspath in das Sieb gelegt; um es nun wieder dahin zu bringen, daß das Instrument bis O einsinkt, muß man noch 3,8 Gramme auf den Teller legen; das Gewicht eines dem Flußspath gleichen Wasservolumens ist also 3,8 Gramm, und das verlangte specifische Gewicht $\frac{12}{3{,}8} = 3{,}15$.

Auch das specifische Gewicht von Flüssigkeiten kann man mit dem Nicholson'schen Aräometer bestimmen. Da das Instrument stets so weit einsinkt, daß das Gewicht desselben sammt den Gewichten auf dem Teller dem der verdrängten Flüssigkeitsmasse gleich ist, so kann man mit Hülfe dieses Instruments ausmitteln, wie viel ein bestimmtes Volumen der Flüssigkeit wiegt. Dazu ist aber nöthig, daß man das Gewicht des Instruments selbst kennt; dies Gewicht sei g. Wenn das Instrument, in Wasser eingetaucht, bis O einsinken soll, so muß noch

Gewicht zugelegt werden. Bezeichnen wir dieses Zulagegewicht mit a, so ist $g + a$ das Gewicht der verdrängten Wassermenge.

Taucht man nun das Instrument in eine andere Flüssigkeit, so wird man irgend ein anderes Gewicht b anstatt a auflegen müssen, um ein Einsinken bis O zu bewerkstelligen; b wird größer sein als a, wenn die Flüssigkeit schwerer, kleiner als a, wenn sie leichter ist als Wasser. Das Gewicht der verdrängten Flüssigkeit ist $g + b$; das Volumen derselben ist aber genau so groß als das Gewicht der Wassermenge, deren Gewicht $g + a$ ist, weil ja das Aräometer in beiden Fällen gleich tief eingesunken ist.

Das Instrument wiege z. B. 70 Gramme; muß man 20 Gramme auflegen, damit es in Wasser, und 1,37 Gramme, damit es in Weingeist bis O einsinkt, so ist also das specifische Gewicht des Weingeistes $\frac{70 + 1{,}37}{70 + 20} = 0{,}793$.

Dieses Aräometer ist um so empfindlicher, je dünner das Stäbchen im Vergleich zum eingetauchten Volumen ist.

Mit diesem Aräometer das specifische Gewicht von Flüssigkeiten zu bestimmen, ist immer etwas umständlich. Man könnte eben so schnell mit Hülfe der Wage nach dem schon früher angegebenen Verfahren mit weit größerer Genauigkeit zum Ziele kommen. In vielen Fällen des praktischen Lebens aber kommt es darauf an, schnell durch ein möglichst einfaches Verfahren das specifische Gewicht einer Flüssigkeit auszumitteln, um daraus auf die Qualität einer Flüssigkeit zu schließen. In solchen Fällen reicht es aber vollkommen hin, das specifische Gewicht bis auf zwei Decimalstellen genau zu finden; man erreicht dies am schnellsten durch die Scalenaräometer, die wir sogleich näher betrachten wollen.

43 **Scalenaräometer.** Durch das Nicholson'sche Aräometer wurde das specifische Gewicht einer Flüssigkeit aus der Vergleichung des absoluten Gewichtes gleicher Volumina abgeleitet. Der Gebrauch der Scalenaräometer aber gründet sich darauf, daß bei gleichem absoluten Gewichte die specifischen Gewichte sich umgekehrt verhalten wie die Volumina.

Fig. 93 stellt ein Scalenaräometer dar. In der Regel bestehen sie aus einer cylindrischen Glasröhre, welche unten erweitert ist, wie man in der Abbildung sieht. In der unteren Kugel befindet sich etwas Quecksilber, wodurch nur bezweckt wird, daß das Instrument aufrecht schwimmt. Denken wir uns das Instrument im Wasser schwimmend, so ist das Gewicht des verdrängten Wassers dem Gewichte des Instrumentes gleich. Senken wir es nun in eine andere Flüssigkeit, so wird es tiefer oder weniger tief einsinken, je nachdem die Flüssigkeit leichter oder schwerer ist als Wasser. Gesetzt, das Aräometer wiege 10 Gramme, so wird es, in Wasser schwimmend, 10 Cubikcentimeter verdrängen. Taucht man es in Weingeist, so wird es so tief einsinken, daß die verdrängte Weingeistmenge auch 10 Gramme wiegt. Aber 10 Gramme Weingeist nehmen einen größeren Raum ein als 10 Gramme Wasser, das Instrument muß also tiefer einsinken, und zwar so, daß das in Weingeist eingesenkte Volumen sich zu

dem in Wasser eingesenkten umgekehrt verhält wie die specifischen Gewichte dieser Flüssigkeiten.

Um mit Hülfe eines solchen Instrumentes das specifische Gewicht einer Flüssigkeit ermitteln zu können, muß aber die Röhre mit einer zweckmäßigen Theilung versehen sein. Eine solche ist nun die von Gay-Lussac angegebene Volumeterscala.

Um diese Scala zu erhalten, wird zunächst derjenige Punkt x der Röhre bezeichnet, bis zu welchem das Instrument in Wasser einsinkt, alsdann auf der Röhre, von diesem Punkte ausgehend, eine Reihe von Theilstrichen so angebracht, daß das Volumen eines Röhrenstücks, welches zwischen je zwei solcher Theilstriche fällt, $^1/_{100}$ von dem in Wasser einsinkenden Volumen ist. Nehmen wir z. B. an, das Volumen desjenigen Theils des Aräometers, welches im Wasser untergetaucht ist, betrüge gerade 10 Cubikcentimeter, so müßte das Volumen des Röhrenstücks, welches zwischen je zwei Theilstriche fällt, 0,1 Cubikcentimeter betragen.

Fig. 93.

Der Wasserpunkt x wird mit 100 bezeichnet und die Theilung von unten nach oben gezählt. Die auf diese Weise getheilten Aräometer werden mit dem besonderen Namen Volumeter bezeichnet.

Gesetzt, das Aräometer sänke in irgend einer Flüssigkeit bis zum Theilstrich 80 der Volumeterscala ein, so weiß man dadurch, daß 80 Volumentheile dieser Flüssigkeit so viel wiegen wie 100 Volumentheile Wasser; das specifische Gewicht dieser Flüssigkeit verhält sich also zu dem des Wassers wie 100 zu 80, es ist also $\frac{100}{80}$ oder 1,25.

Wäre das Volumeter in einer anderen Flüssigkeit bis zum Theilstrich 116 der Volumeterscala eingesunken, so finden wir durch dieselbe Schlußweise, daß das specifische Gewicht dieser Flüssigkeit $\frac{100}{116} = 0{,}862$ ist. Kurz, wenn das Volumeter in einer Flüssigkeit bis zu einem bestimmten Punkte y der Scala einsinkt, so findet man das specifische Gewicht s der Flüssigkeit, wenn man die Zahl des beobachteten Scalenpunktes in 100 dividirt, d. h. es ist

$$s = \frac{100}{y}.$$

Die Genauigkeit eines solchen Instrumentes ist um so größer, je größer die Entfernung eines Theilstriches vom anderen, je dünner also die Röhre im Vergleich zu dem Volumen des ganzen Instrumentes ist. Damit jedoch die Röhre nicht gar zu lang wird, macht man kein Volumeter, welches für alle Flüssigkeiten anwendbar ist, sondern solche, welche entweder nur für leichtere

oder nur für schwerere Flüssigkeiten gebraucht werden können. Bei den ersteren befindet sich der mit 100 bezeichnete Wasserpunkt nahe am unteren, bei den letzteren aber nahe am oberen Ende der Röhre.

Noch bequemer für den Gebrauch ist die Densimeterscala, d. h. eine Scale, an welcher man unmittelbar die specifischen Gewichte ablesen kann, deren Theilstriche also mit dem ihnen entsprechenden specifischen Gewichte bezeichnet sind. An einem Densimeter also, welches für leichtere Flüssigkeiten bestimmt ist, sind die Punkte markirt, bis zu welchen das Instrument in Flüsigkeiten einsinken muß, deren specifisches Gewicht 1; 0,99; 0,98; 0,97 ... 0,90; 0,89 u. s. w. ist.

Fig. 94.

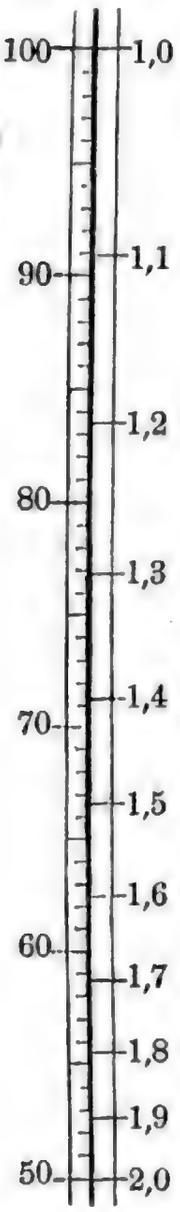


Fig. 95.

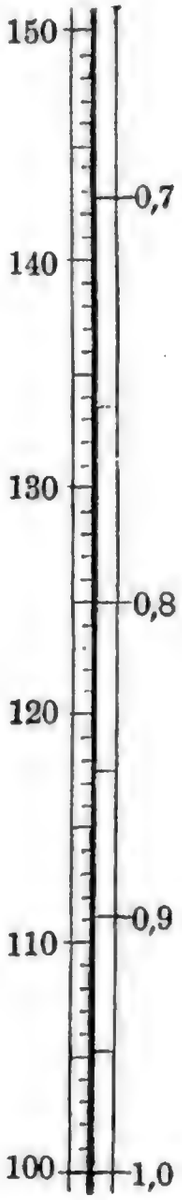


Fig. 94 zeigt die Hauptabtheilungen einer Densimeterscale für schwere, Fig. 95 einer solchen für leichtere Flüssigkeiten und neben denselben links die entsprechenden Stücke der Volumeterscale aufgetragen.

44

Alkoholometer. Im praktischen Leben ist es nicht direct der Zweck, das specifische Gewicht einer Flüssigkeit zu erfahren, sondern man will den Concentrationsgrad einer Salzlösung, die Mischungsverhältnisse einer Flüssigkeit kennen lernen. Diese stehen nun freilich mit dem specifischen Gewichte in genauer Beziehung, so daß, wenn man mit Hülfe des Aräometers das specifische Gewicht einer Flüssigkeit ausgemittelt hat, man daraus auch auf die Natur der Flüssigkeit schließen kann. Man hat jedoch für solche Flüssigkeiten, welche in der Praxis häufig vorkommen, besondere Aräometer construirt, welche unmittelbar die Mischungsverhältnisse angeben; wir wollen hier nur eines der wichtigsten, nämlich das Alkoholometer, näher betrachten.

Das Alkoholometer dient zur Bestimmung des Alkoholgehaltes einer Mischung von Wasser und Weingeist.

Das specifische Gewicht des Alkohols ist 0,793, wenn man das des Wassers als Einheit annimmt; eine Mischung von Wasser und absolutem Alkohol wird also eine Dichtigkeit haben, welche zwischen 1 und 0,793 fällt und

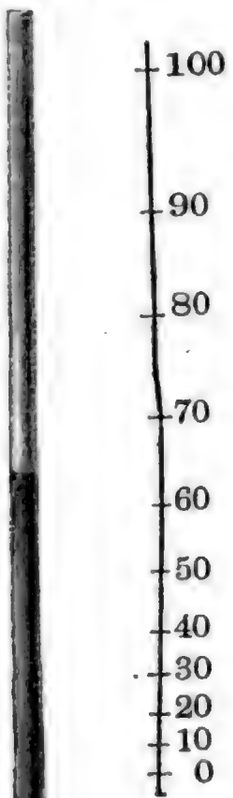
sich mehr der einen oder der anderen Gränze nähert, je nachdem die Mischung mehr Wasser oder mehr Alkohol enthält. Das specifische Gewicht der Mischung weicht jedoch von dem arithmetischen Mittel ab, welches man aus den Mischungsverhältnissen berechnet.

Der Grund dieser Abweichung liegt darin, daß, wenn man Wasser und Weingeist mischt, eine Contraction stattfindet, die wir erst durch einen Versuch anschaulich machen wollen.

Man gieße eine Glasröhre, Fig. 96, (etwa eine solche, wie man sie zum Toricelli'schen Versuche nimmt), halb voll Wasser und fülle die andere Hälfte mit Weingeist (für Vorlesungen ist gefärbter Weingeist zu empfehlen), so werden sich die Flüssigkeiten nicht mischen; der Weingeist schwimmt auf dem Wasser. Nachdem das offene Ende durch einen Korkstöpsel fest verschlossen worden ist, so daß durchaus keine Flüssigkeit entweichen kann, kehrt man die Röhre um; es wird durch das Sinken des Wassers alsbald eine Mischung der Flüssigkeiten vor sich gehen. Hat nach mehrmaligem Umkehren die Mischung vollständig stattgefunden, so sieht man, daß die vorher ganz volle Röhre nicht mehr ganz angefüllt ist, es hat sich ein leerer Raum gebildet, der in einer 30 Zoll langen Röhre eine Länge von ungefähr $^1/_2$ Zoll einnimmt.

Die Punkte, bis zu welchen ein Aräometer in Weingeist von verschiedenem Alkoholgehalt einsinken wird, lassen sich demnach nur durch Versuche ermitteln.

Fig. 96. Fig. 97.



Markirt man auf der Scala eines Aräometers diejenigen Punkte, bis zu welchen das Instrument in Weingeist einsinken wird, welcher 10, 20, 30, 40 ꝛc. Volumprocente Alkohol enthält, theilt man die Zwischenräume in 10 gleiche Theile, so erhält man ein Procent-Aräometer für Weingeist, d. h. ein Aräometer, an welchem man unmittelbar ablesen kann, wie viel Volumprocente Alkohol in einer Mischung von Wasser und Weingeist sich befinden. Solche Alkoholometer wurden in Frankreich nach Gay-Lussac's, in Deutschland nach Tralles' Angaben ausgeführt, und es ist gesetzlich bestimmt, daß der Alkoholgehalt des der Besteuerung unterworfenen Branntweins, Weingeistes u. s. w. mit Hülfe dieses Instrumentes ermittelt werden soll. Beistehende Scala, Fig. 97, zeigt die Hauptabtheilungen eines solchen Alkoholometers in ihrem richtigen Verhältniß. Man sieht, wie sich erwarten ließ, daß die Abtheilungen ungleiche Größe haben.

Das Volumeter kann das Alkoholometer recht gut ersetzen, wenn man nur eine Tabelle zur Hand hat, in welcher der Alkoholgehalt angegeben ist, welcher den verschiedenen Volumetergraden entspricht.

Begreiflicher Weise kann man aber das Alkoholometer einzig und allein zu dem angegebenen Zwecke verwenden; für jede andere Flüssigkeit ist es völlig

unbrauchbar. Auf ähnliche Weise, wie das Alkoholometer, hat man auch Aräometer construirt, welche den Gehalt einer Säure, einer Salzlösung u. s. w. angeben sollen. Weil jedoch ein solches Instrument immer nur für eine einzige specielle Flüssigkeit brauchbar ist, so wendet man besser ein- für allemal das Volumeter oder Densimeter an und sucht den Gehalt, welcher dem beobachteten Volumetergrade entspricht, in Tabellen, welche eigens zu diesem Zwecke berechnet worden sind.

45 **Aeltere Aräometerscalen.** Es bleiben jetzt nur noch die älteren Aräometerscalen zu erwähnen, welche jedoch durchaus keinen wissenschaftlichen Werth haben.

Beaumé bestimmte außer dem Wasserpunkte noch einen zweiten fixen Punkt dadurch, daß er das Instrument in eine Lösung von 1 Gewichtstheil Kochsalz in 9 Gewichtstheilen Wasser tauchte. Den Raum zwischen diesen beiden Punkten theilte er in 10 gleiche Theile, die er Grade nannte; die Theilung ist auch noch jenseits der beiden fixen Punkte fortgesetzt. Für Flüssigkeiten, welche schwerer sind als Wasser, ist der Wasserpunkt mit 0 bezeichnet, und die Grade werden nach unten gezählt. Für leichtere Flüssigkeiten ist der Wasserpunkt mit 10 bezeichnet, und die Grade werden nach oben gezählt. Man sieht wohl, daß man durch ein solches Instrument weder das specifische Gewicht, noch den Gehalt einer Flüssigkeit erfährt.

Cartier brachte an der Beaumé'schen Scala eine unwesentliche Veränderung an; er machte nämlich die Grade etwas größer, so daß 15 seiner Grade gleich 16 Beaumé'schen sind. Wenn er dadurch auch nichts genützt hat, so hat er doch wenigstens seinen Namen verewigt; denn so werthlos auch seine Scala sein mag, so ist sie doch ungemein verbreitet.

Die Tabelle Seite 581 und 582 des Anhanges enthält eine Zusammenstellung von specifischen Gewichten einiger Körper, welche zu kennen häufig nothwendig oder wenigstens von Interesse ist.

Viertes Capitel.

Molekularwirkungen zwischen festen und flüssigen Körpern, sowie zwischen den einzelnen Theilchen der Flüssigkeiten selbst.

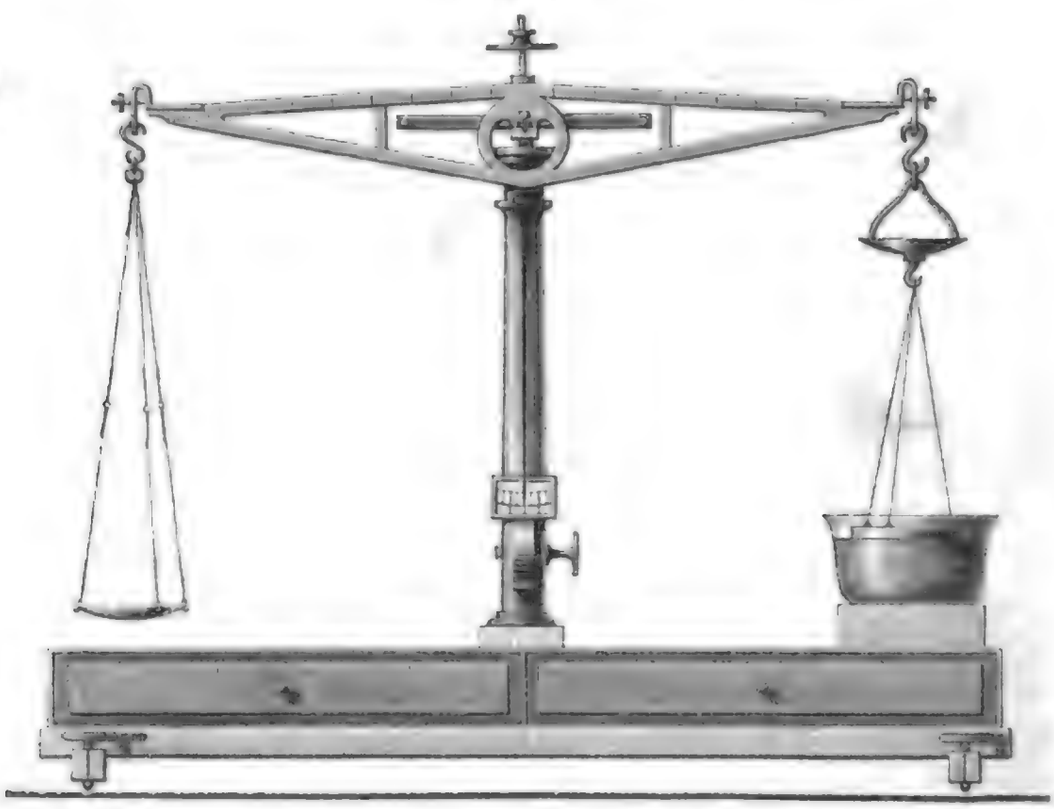
Adhäsion zwischen festen und flüssigen Körpern. 46
Zwischen festen und flüssigen Körpern finden ähnliche Adhäsionserscheinungen Statt, wie zwischen festen Körpern unter einander, d. h. die Flüssigkeiten haften mehr oder weniger stark an den Oberflächen fester Körper. Spritzt man z. B. einige Wassertropfen gegen eine vertical stehende Glasscheibe, so werden sie zum Theil daran hängen bleiben und nicht herunterlaufen, wie es der Fall sein würde, wenn der Schwerkraft der Tropfen nicht durch eine andere Kraft, nämlich durch die Anziehung, welche zwischen den Theilchen der Flüssigkeit und der Oberfläche der Glaswand stattfindet, das Gleichgewicht gehalten würde.

Diese Adhäsion ist auch die Ursache, daß Flüssigkeiten, die man aus einem Gefäße ausgießen will, so leicht an der äußeren Wand herablaufen. Um dies zu verhüten, bestreicht man den äußeren Rand der Gefäße mit Fett, oder man läßt die ausfließende Flüssigkeit an einem benetzten Glasstäbchen herablaufen.

Cohäsion der Flüssigkeitstheilchen. Wenn die Flüssig- 47
keiten auch keine selbständige Gestalt haben, wenn sich auch die einzelnen Theilchen ungemein leicht an einander verschieben lassen, so hört deshalb doch noch nicht jeder Zusammenhang zwischen ihnen auf, wie dies schon aus der Tropfenbildung hervorgeht. Gießt man etwas Wasser auf eine mit Bärlappsamen (Semen lycopodii) bestäubte Fläche oder etwas Quecksilber in ein Porzellangefäß, so bilden sich fast kugelförmige Tröpfchen. Wenn gar kein Zusammenhang zwischen den einzelnen Theilchen des Wassers, zwischen denen das Quecksilbers bestände, so müßten die Theilchen gleichsam wie Staub auseinanderfallen; bei langsamem Ausgießen von Flüssigkeiten aus irgend einem Gefäße würden sie nicht in einzelnen Tropfen herabfallen; ein solcher Tropfen fällt erst, wenn sein Gewicht groß genug ist, um gleichsam ein Abreißen von der übrigen Masse der Flüssigkeit zu bewirken.

Die Cohäſion, welche zwiſchen den einzelnen Theilchen einer Flüſſigkeit ſtattfindet, läßt ſich direct meſſen. Wenn eine feſte Scheibe auf die Oberfläche einer Flüſſigkeit geſetzt wird, ſo kann man ſie in verticaler Richtung nicht mehr in die Höhe ziehen, wie wenn ſie frei in der Luft hinge; es iſt, um ſie in die Höhe zu ziehen, eine mehr oder minder große Kraft nöthig. Um dieſe Kraft zu meſſen, bedient man ſich der Wage. Auf der einen Seite hängt man eine horizontale Scheibe an, auf der anderen Seite legt man ein Gegengewicht auf, welches ihr das Gleichgewicht hält. Wenn das Gleichgewicht hergeſtellt iſt, nähert man der Scheibe von unten die Oberfläche einer Flüſſigkeit, bis die Flüſſigkeit die untere Fläche der Scheibe gerade berührt (Fig. 98), legt dann,

Fig. 98.



ohne zu ſtoßen, auf der anderen Seite noch weitere Gewichte auf, bis die Scheibe von der Flüſſigkeit abreißt.

Um eine Glasſcheibe von 118^{mm} Durchmeſſer abzureißen, ſind für verſchiedene Flüſſigkeiten verſchiedene Gewichte nöthig und zwar für

Waſſer	59	Gramm
Alkohol	31	„
Terpentinöl	34	„

Eine Scheibe von gleichem Durchmeſſer aus Kupfer oder irgend einer Subſtanz verfertigt, welche von der Flüſſigkeit benetzt wird, giebt genau dieſelben Reſultate. Die zum Abreißen nöthige Kraft hängt alſo, wie die Höhe des Aufſteigens in Haarröhrchen, nicht von der Natur des benetzten feſten Körpers, ſondern nur von der Natur der Flüſſigkeit ab. Es iſt leicht, den Grund davon einzuſehen, denn beim Aufziehen bleibt immer eine Schicht Flüſſigkeit an der Scheibe hängen: man hat alſo durch das Uebergewicht auf der anderen Seite

nicht die Flüssigkeit von der festen Scheibe, sondern die Moleküle der Flüssigkeit von einander getrennt, man hat also die Cohäsion der Flüssigkeit überwunden. Die in Rede stehenden Versuche geben also ein Maß für die Cohäsion der Flüssigkeiten, also für die Cohäsion, welche zwischen den Theilchen derselben stattfindet, und man sieht, daß diese Cohäsion ziemlich bedeutend ist und daß sie sich mit der Natur der Flüssigkeiten ändert.

Wenn die Oberfläche der Scheibe nicht von der Flüssigkeit benetzt wird, wie es z. B. der Fall ist, wenn man eine Glasscheibe auf Quecksilber setzt, so drückt das Zulagegewicht, welches das Abreißen bewirkt, nicht mehr die Cohäsion der Flüssigkeit aus.

Um eine Glasscheibe von den oben erwähnten Dimensionen von Quecksilber abzureißen, ist eine Kraft von ungefähr 200 Gramm nöthig. Daraus geht hervor, daß, selbst wenn ein fester Körper nicht von einer Flüssigkeit benetzt wird, doch zwischen den Molekülen der Flüssigkeit und denen des festen Körpers eine mehr oder minder große Anziehung stattfindet; nur ist in diesem Falle die Cohäsion der Flüssigkeit größer als die Adhäsion zwischen der Flüssigkeit und dem festen Körper.

Capillarerscheinungen. In Folge der Molekularanziehungen, 48
welche zwischen festen und flüssigen Körpern thätig sind, wird die freie, sonst horizontale Oberfläche der Flüssigkeiten überall da eine Störung erleiden, wo sie mit der Wand eines festen Körpers in Berührung kommt. Der Charakter dieser Störung hängt davon ab, ob die Oberfläche des festen Körpers von der Flüssigkeit benetzt wird oder nicht. Ersteres findet Statt, wenn die Adhäsion der Flüssigkeit an den festen Körper größer ist als die Cohäsion der Flüssigkeitstheilchen, letzteres dagegen, wenn die Cohäsion der Flüssigkeitstheilchen überwiegend ist.

Die horizontale Oberfläche einer Flüssigkeit kann sich nie vollständig bis zu der Wand eines in dieselbe eingetauchten festen Körpers erstrecken. Sie wird an der Wand des festen Körpers aufsteigen, wie Fig. 99 zeigt, wenn die

Fig. 99.

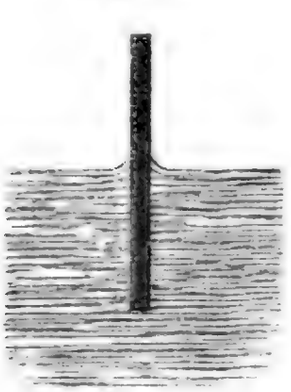
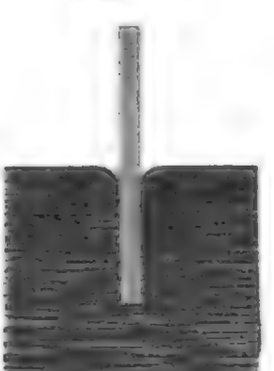


Fig. 100.



Adhäsion der Flüssigkeit an den festen Körper, sie wird eine Depression erleiden, wie Fig. 100, wenn die Cohäsion der Flüssigkeitstheilchen überwiegend ist.

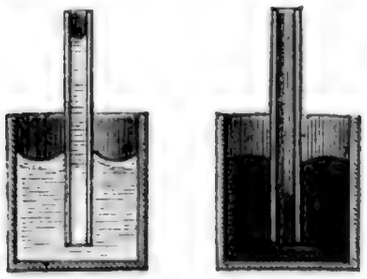
Die Erscheinung Fig. 99 beobachtet man beim Eintauchen einer Glas

platte in Wasser, die in Fig. 100 abgebildete beim Eintauchen derselben in Quecksilber.

Aus gleichen Gründen kann sich die freie Oberfläche einer Flüssigkeit auch nie bis zu der Wand des Gefäßes erstrecken, in welcher sie sich befindet; sie wird in der Nähe der Wand entweder nach Oben oder nach Unten gekrümmt, je nachdem Benetzung stattfindet oder nicht.

Taucht man eine Glasröhre in Wasser, so wird Innen und Außen an der Glaswand das Wasser aufsteigen; ist die Röhre weit genug, so bleibt der mittlere Theil der innerhalb der Röhre liegenden Wasseroberfläche ungestört wagerecht und von gleicher Höhe mit dem die Röhre umgebenden Wasserspiegel. Sobald aber die Röhre so eng wird, daß der Erhebungsbogen von der einen Seite mit dem gegenüberstehenden zusammentrifft, daß also die centrale Ebene verschwindet, findet ein Aufsteigen des Wassers innerhalb der Röhre Statt, wie dies Fig. 101 andeutet.

Fig. 101. Fig. 102.



In gleicher Weise findet eine Depression der Flüssigkeit im Innern der engen Röhre Statt, wie Fig. 102 andeutet, wenn die eingetauchte Röhre von der Flüssigkeit nicht benetzt wird, wenn man also z. B. eine Glasröhre in Quecksilber taucht.

Diese Erscheinungen der Hebung und Senkung werden mit dem Namen der Capillarerscheinungen bezeichnet; die Kraft aber, welche sie hervorbringt, heißt Capillarattraction, oder auch bloß Capillarität. Diese Kraft wirkt überall, wo Flüssigkeiten mit festen Körpern in Berührung kommen.

Es ist leicht, sich durch den Versuch davon zu überzeugen, daß die Höhendifferenz zwischen dem Gipfel der Flüssigkeit im Röhrchen und dem Spiegel der Flüssigkeit außerhalb desselben um so größer ist, je enger die Röhrchen sind. Taucht man zwei Röhrchen, von denen das eine einen doppelt so großen Durchmesser hat als das andere, in Wasser, so wird das Wasser im engeren doppelt so hoch steigen; taucht man sie in Quecksilber, so wird im engeren das Quecksilber doppelt so tief niedergedrückt. Ueberhaupt verhalten sich die Niveaudifferenzen der Flüssigkeit in und außer der Röhre umgekehrt wie die Durchmesser der Röhrchen.

Die Höhe der gehobenen Säulchen hängt auf die eben angegebene Weise von dem Durchmesser der Röhren ab, die Dicke und die Substanz der Röhrenwände ist dabei gleichgültig, wenn sie nur von der Flüssigkeit benetzt werden; dagegen hängt die Höhe wesentlich von der Natur der Flüssigkeit ab. Folgendes ist die Erhebung in einer Röhre von 1 Millimeter Durchmesser für drei verschiedene Flüssigkeiten:

Wasser	29,79	Millimeter
Alkohol (specif. Gewicht 0,8135)	9,15	„
Terpentinöl	12,72	„

Auf der Wirkung der Haarröhrchen beruht das Aufsteigen einer Flüssigkeit in Löschpapier, die Wirkung der Kerzen- und Lampendochte, das Ausblühen

(Efflorescíren) gesättigter Salzlösungen u. s. w. Die Gefäße der Pflanzen, welche den Saft aus den Wurzeln in die Höhe führen, sind außerordentlich fein und bewirken schon dadurch ein Aufsteigen der Flüssigkeit.

Die soeben betrachteten Erscheinungen lassen sich auf folgende Weise unter einem theoretischen Gesichtspunkte zusammenfassen.

In einer Flüssigkeit müssen die Moleküle in einer solchen Entfernung verharren, daß Attraction und Repulsion einander neutralisiren. Es ist dies nur dann möglich, wenn die Moleküle in parallelen Schichten gelagert sind, in der Art, daß jedes Molekül von zwölf anderen umgeben ist, ungefähr so wie man gewöhnlich die gleich großen Kanonenkugeln zu lagern pflegt. Diese Anordnung ist dann nicht im Mindesten gestört, wenn die Flüssigkeit auch eben endigt. Jedes Molekül ist hier nach allen Seiten hin vollkommen gleichen Einwirkungen unterworfen, alle Moleküle sind hier in vollkommen gleichen Entfernungen von einander. Diese Anordnung mag die normale Lagerung der Moleküle heißen.

Sobald durch irgend eine äußere Kraft die normale Lagerung der Moleküle gestört wird, wird auch das bisher vollständige Gleichgewicht gestört, es entsteht eine Spannung, welche den gestörten Parallelismus der Schichten wieder herzustellen strebt und welche die Flüssigkeitstheilchen sogleich wieder in die normale Lagerung zurückführt, sobald die störende Ursache zu wirken aufhört. Wenn man ein Stäbchen, welches von der Flüssigkeit benetzt wird, in dieselbe eintaucht, so kann man durch langsames Herausziehen einen Hügel bilden, der nach dem Abreißen sogleich wieder in die Ebene zurückeilt. Dies könnte nun freilich bloß Folge der Schwere sein; allein dasselbe findet in der umgekehrten Lage der Ebene Statt. Aus einem an der unteren Fläche einer horizontal gehaltenen Glasplatte hängenden großen und möglichst ausgebreiteten Tropfen (Fig. 103) kann man wie vorher einen Hügel herausziehen

Fig. 103.

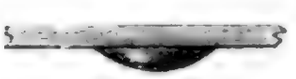
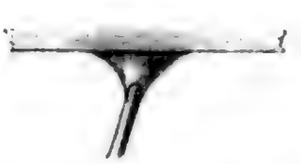


Fig. 104.



(Fig. 104), welcher sich nach dem Abreißen, der Schwere entgegen, in die Ebene zurückzieht.

Eine tropfbare Flüssigkeit strebt also in einer Ebene zu endigen. Nun aber kann eine ringsum freie Masse nicht durch eine einzige Ebene begränzt werden. Wäre sie durch mehrere ebene Flächen begränzt, so würden die Kanten durch die Spannung der Moleküle in denselben bald abgeflacht werden; ist aber die Masse durch eine krumme Oberfläche begränzt, deren Krümmung nicht an allen Stellen gleich ist, so würde an den stärker gekrümmten Theilchen der Oberfläche nothwendig auch eine stärkere Spannung stattfinden, welche die Abrundung zur vollkommenen Kugel zur Folge hat. Auf dieselbe Weise geht auch die Abrundung der Blase vor sich.

Die oberflächlichen Moleküle einer ringsum freien tropfbaren Flüssigkeit bilden demnach ein die innere Masse kräftig zusammendrückendes Netzwerk. Hat man eine Seifenblase gemacht, so behält diese ihre Größe bei, wenn man die Oeffnung des Röhrchens zuhält; sobald man diese aber öffnet, verkleinert sich die Blase mehr und mehr. Würde die Luft in der Blase nicht durch die umschließende Flüssigkeitsschicht zusammengedrückt, so würde sie in der Blase bleiben und nicht dem atmosphärischen Luftdruck entgegen durch das Röhrchen hinausgedrückt werden.

Wird Quecksilber in ein Glas gebracht, so bildet es einen in dem Glase frei liegenden großen Tropfen, dessen Form nur durch die Gefäßwände bedingt ist. Er endet oben mit einer horizontalen Fläche, die aber nicht bis an die Wand reichen kann, weil die scharfe Kante des Tropfens, wie wir gesehen haben, abgerundet wird.

Bringt man einen Tropfen Quecksilber in ein vollkommen cylindrisches Glasröhrchen, welches horizontal gestellt ist, so bildet er einen an beiden Enden abgerundeten Cylinder. Es kann aber durchaus keine Bewegung entstehen, weil die Convexität an beiden Enden gleich ist.

Ist aber das Röhrchen konisch, Fig. 105, so ist der Quecksilberfaden am engeren Ende mehr gekrümmt; hier wirkt also die Spannung der anomal gelagerten Moleküle stärker als auf der anderen Seite, und die Folge dieser überwiegenden Spannung ist, daß sich der Quecksilberfaden nach dem weiteren Ende hin bewegt.

Fig. 105.

Füllt man ein Röhrchen ganz mit Quecksilber, legt man es horizontal hin, und läßt das eine Ende des Quecksilberfadens mit einem Tropfen Quecksilber zusammenfließen, so vergrößert sich der Tropfen, und das Quecksilber tritt zuletzt ganz aus dem Röhrchen heraus und vereinigt sich ganz mit dem Tropfen. Der Grund davon ist leicht einzusehen. Durch die starke Krümmung der Convexität am Ende des Quecksilbercylinders entsteht von dieser Seite ein weit stärkerer Druck auf die Masse als von der Seite des Tropfens.

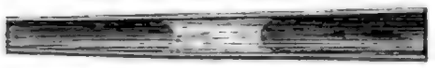
Taucht man ein Glasröhrchen vertical in Quecksilber, so wird es im Röhrchen tiefer stehen als außen, weil die starke Convexität des Quecksilbercylinders in der Röhre deprimirend wirkt. Es ist auch klar, daß die Depression um so größer sein muß, je enger die Röhre ist.

Wenn eine Flüssigkeit an den Gefäßwänden anhängt, dieselben benetzt, so kann sie nicht mehr, wie im vorigen Falle, als ein großer Tropfen betrachtet werden, die Oberfläche kann also auch nicht, wie dort, eine convexe Gestalt annehmen. Die Molecüle der Gefäßwand, welche mit der Flüssigkeit in Berührung sind, wirken auf die Flüssigkeit gerade so wie die Flüssigkeitsmoleküle auf einander. Die festen Gefäßwände sind demnach nur als eine starre Fortsetzung der Flüssigkeit zu betrachten. Die über der Flüssigkeit im Gefäße befindliche Luft muß demnach als eine Blase angesehen werden, die unten von der Flüssigkeit, auf den Seiten durch die Gefäßwände begränzt ist. Wäre die Oberfläche der

Flüssigkeit vollkommen eben, so würde die Blase da, wo Flüssigkeit und Gefäßwand zusammentrifft, eine scharfe Kante haben, welche alsbald durch die gegenseitige Anziehung der Moleküle der Wand und der Flüssigkeit abgerundet werden muß; da aber die Moleküle des Gefäßes fest sind, so bleibt nichts übrig, als daß die Oberfläche der Flüssigkeit eine concave Gestalt annimmt, indem Moleküle der Flüssigkeit an den Wänden aufsteigen. Bei der Blase aber bewirkt die Spannung der anomal gelagerten Wassermoleküle einen Druck auf die eingeschlossene Luft; so wird denn auch hier die concave Flüssigkeitsoberfläche gegen die Luft der Blase einen Druck ausüben.

Ein Tropfen Wasser in einer horizontalen cylindrischen Glasröhre wird einen an beiden Enden concaven Cylinder bilden, der sich nicht bewegt, weil die Concavitäten an beiden Enden gleich sind. Ist das Röhrchen konisch, Fig. 106, so ist natürlich die eine Concavität stärker gekrümmt als die andere, und durch die überwiegende Spannung der stärker gekrümmten wird das Wasser nach dem engeren Theile der Röhre hingezogen. Ebenso erklärt sich leicht aus der Wirkung der concaven Oberfläche das Aufsteigen des Wassers in einem Röhrchen, welches vertical in Wasser eingetaucht wird.

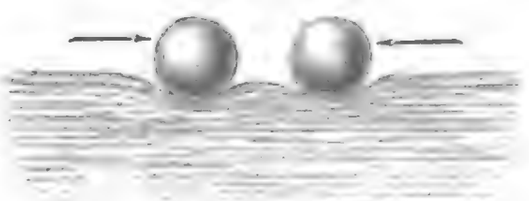
Fig. 106.



Schwimmt eine hohle gläserne Kugel auf Wasser, so fängt dieses schon in einiger Entfernung von der Kugel an, sich ringsherum gegen dieselbe zu heben. Bringt man eine zweite Glaskugel einen Zoll weit von der ersten in das Wasser, so nähern sich die Kugeln anfangs langsam, dann schneller und schneller, bis sie endlich an einander stoßen. Wären beide Kugeln fest gewesen, so würde in Folge des Bestrebens der Ebenebildung das Wasser zwischen ihnen

Fig. 107.

Fig. 108.



gestiegen sein; da sie aber beweglich sind, so muß die an sie gleichsam angeheftete und durch ihre Schwere sinkende Wasserfläche, welche sich zwischen ihnen befindet, die Kugeln gegen einander ziehen.

Elasticität der Flüssigkeiten. Auch die tropfbar flüssigen 49
Körper sind in gewisser Beziehung elastisch; denn sie lassen sich durch einen sehr starken Druck, wenn auch nur sehr wenig, auf ein kleineres Volumen zusammenpressen, und wenn der Druck nachläßt, nehmen sie ihr ursprüngliches Volumen wieder ein. Zuerst hat Oersted, später haben Colladon und Sturm Versuche über die Zusammendrückbarkeit der Flüssigkeiten angestellt. Die nähere Beschreibung der von ihnen hierüber angestellten Versuche würde uns zu weit führen. Durch den Druck einer Atmosphäre (dieser Ausdruck wird im folgenden

Capitel seine Erklärung finden) läßt sich Queckſilber ungefähr um 3, Waſſer um 48 Milliontheile ſeines Volumens zuſammenpreſſen.

50 **Die Endosmose.** Wenn man Waſſer und Oel in einer Flaſche zuſammenſchüttelt, ſo werden ſich, der Ruhe überlaſſen, die beiden Flüſſigkeiten doch alsbald wieder trennen, und nach ihrem ſpecifiſchen Gewichte über einander lagern. Es rührt dies unſtreitig daher, daß die Anziehung zwiſchen zwei Waſſermolekülen eben ſo wie die Anziehung zwiſchen zwei Oelmolekülen größer iſt als die Anziehung zwiſchen einem Waſſertheilchen und einem Oeltheilchen.

Ganz anders verhalten ſich Weingeiſt und Waſſer. Die Anziehung zwiſchen einem Weingeiſt- und einem Waſſermolekül iſt größer als die Kraft, mit welcher ſich zwei Waſſermoleküle oder zwei Weingeiſtmoleküle einander anziehen, weshalb ſich auch aus Waſſer und Weingeiſt eine Miſchung herſtellen läßt, in welcher jede der beiden Flüſſigkeiten vollkommen gleichförmig verbreitet iſt. Ja ſelbſt wenn die beiden Flüſſigkeiten anfänglich nach ihrem ſpecifiſchen Gewichte geſchichtet ſind, d. h. wenn der Weingeiſt anfänglich auf dem Waſſer ſchwimmt, ſo wird durch die erwähnte ſtärkere Anziehung zwiſchen Waſſer und Weingeiſt nach einiger Zeit doch eine gleichförmige Miſchung der beiden Flüſſigkeiten erfolgen. Ganz ähnlich verhalten ſich Waſſer und Schwefelſäure, Waſſer und eine concentrirte Salzlöſung u. ſ. w.

Dieſe Erſcheinung der nach und nach eintretenden gleichförmigen Miſchung zweier verſchiedener Flüſſigkeiten bezeichnet man mit dem Namen der Diffuſion. Waſſer und Weingeiſt diffundiren in einander, während zwiſchen Waſſer und Oel keine Diffuſion ſtattfindet.

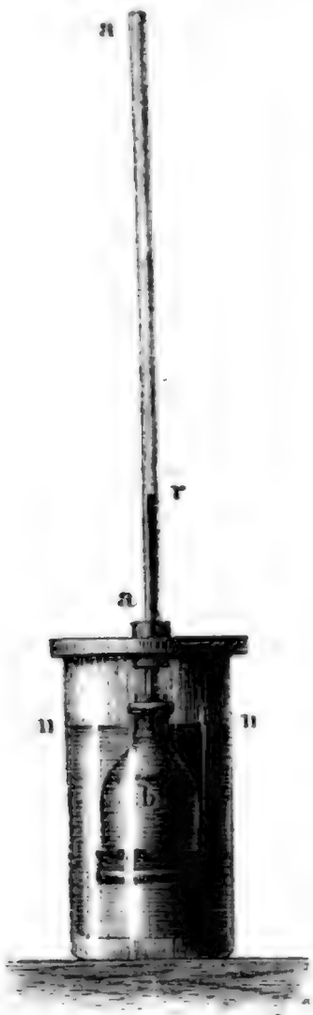
Wenn nun zwei Flüſſigkeiten, welche ſich in der erwähnten Weiſe zu miſchen, gleichſam gegenſeitig zu durchdringen ſtreben, wie Waſſer und Weingeiſt, Waſſer und Schwefelſäure u. ſ. w., nicht in unmittelbarer Berührung, ſondern durch irgend einen poröſen Körper getrennt ſind, ſo müſſen die Flüſſigkeiten durch dieſe Wand zu einander übergehen, und da nun die poröſe Wand meiſtens die eine Flüſſigkeit leichter durchläßt als die andere, ſo muß die Menge der Flüſſigkeit auf der einen oder der anderen Seite zunehmen. Füllt man z. B. eine unten mit einer Blaſe zugebundene Glasröhre zum Theil concentrirter Kupfervitriollöſung, taucht man dann die durch die Blaſe verſchloſſene Oeffnung in ein Gefäß mit Waſſer, ſo dringt das Waſſer allmälig durch die Blaſe in die Röhre, ſo daß in der Röhre die Flüſſigkeit ſteigt, während ſie außen ſinkt. Umgekehrt ſinkt die Flüſſigkeit in der Röhre, wenn das Waſſer innen, die Löſung des Kupfervitriols außen iſt. Etwas von der Löſung des Kupfervitriols dringt freilich auch durch die Blaſe zum Waſſer, wie man bald an der Färbung erkennt.

Aehnliche Erſcheinungen beobachtet man, wenn man in die Röhre Alkohol gießt und ſie in Waſſer taucht. Nach einiger Zeit ſieht man, daß das Niveau der Flüſſigkeit in der Röhre geſtiegen iſt.

Man nennt diesen Austausch von Flüssigkeiten durch eine poröse Scheidewand hindurch Endosmose, oder richtiger Diosmose.

Um die Zunahme des Volumens auf der einen Seite recht auffallend zu machen, dient der Fig. 109 dargestellte Apparat, welcher Endosmometer genannt wird; *a* ist eine Glasröhre, deren innerer Durchmesser 1 bis 2 Millimeter beträgt und die durch einen sehr wohlschließenden Kork in dem Halse eines weiteren Glasgefäßes *b* befestigt ist. Das Gefäß *b* ist unten durch eine Thierblase verschlossen. Dieser mit der einen Flüssigkeit gefüllte Apparat wird nun in ein weiteres Gefäß, welches die andere Flüssigkeit enthält, eingesetzt, ohne daß jedoch die Blase auf dem Boden des äußeren Gefäßes aufsitzt.

Fig. 109.



Das Gefäß *b* sammt der Röhre *a* sei z. B. mit Weingeist gefüllt, das untere Gefäß enthalte Wasser. Sobald das Gefäß *b* eingesetzt ist, wird sich alsbald ein mechanisches Gleichgewicht zwischen der inneren und äußeren Flüssigkeit und der Spannung der Blase herstellen. Es sei bei *n* das Niveau des Wassers, bei *r* der Gipfel der Weingeistsäule in der Röhre. Nach einer Viertelstunde schon beobachtet man eine bedeutende Veränderung; die Flüssigkeit ist nämlich um einige Millimeter über *r* hinaus gestiegen, und dieses Steigen dauert fort. Wenn die Röhre selbst 4 bis 5 Decimeter hoch ist, so läßt sich erwarten, daß die Flüssigkeit nach einigen Stunden den Gipfel erreicht hat, um oben auszufließen. Das Wasser ist also trotz des Druckes, welchen der Alkohol in Folge seiner Schwere auf die Blase ausübt, durch die Poren derselben in das Gefäß *b* eingedrungen; es hat also eine Endosmose des Wassers zum Alkohol durch die Blase hindurch stattgefunden. Macht man den Versuch in umgekehrter Ordnung, indem man das Wasser innen, den Alkohol außen hinbringt, so sinkt das Niveau in der Röhre, während es außen steigt, es hat eine Exosmose stattgefunden.

Wenn man in ein Gefäß von ungebranntem Thon (etwa eine poröse Thonzelle, wie sie zu Grove's und Bunsen's galvanischen Batterien gebraucht werden) Schwefelsäure gießt und es dann in ein anderes Gefäß mit Wasser stellt, so findet eine ähnliche Erscheinung Statt; das Wasser sickert durch den Thon durch, das Niveau der Flüssigkeit im Innern der Thonzelle steigt, während es außen sinkt.

Die Wirkung der Endosmose dauert fort, wenn auch allmälig immer schwächer, bis die Flüssigkeiten zu beiden Seiten der Scheidewand ganz gleichartig sind.

Daß der Spiegel der Flüssigkeit auf der einen Seite so hoch über das

Niveau auf der anderen Seite ſteigen kann, rührt daher, daß die Poren der Scheidewand zu fein ſind, als daß ein hydroſtatiſcher Druck ſich durch dieſelben fortpflanzen könnte. Wenn man Waſſer in eine poröſe Thonzelle gießt, ſo werden die Wände zwar feucht, aber das Waſſer tropft nicht durch, und eine Thierblaſe, welche gleichfalls vom Waſſer befeuchtet wird, kann nicht zum Filtriren des Waſſers gebraucht werden.

Welche der getrennten Flüſſigkeiten an Volumen zunimmt, hängt lediglich von der Natur der trennenden Scheidewand ab; wenn Waſſer und Weingeiſt durch eine Kautſchukplatte getrennt ſind, ſo nimmt das Waſſer an Volumen zu, indem der Weingeiſt leichter durch den Kautſchuk wandert als Waſſer.

Alle zu endosmotiſchen Verſuchen brauchbaren Scheidewände ſind von unzählig vielen, ausnehmend feinen Poren durchzogen, welche zu fein ſind, als daß ſich durch dieſelben ein hydroſtatiſcher Druck fortpflanzen kann. — Wird eine ſolche Zwiſchenwand in eine Flüſſigkeit getaucht, ſo wird, je nach der Molekularanziehung, welche zwiſchen der Membran und der Flüſſigkeit beſteht, eine größere oder kleinere Menge der Flüſſigkeit reſorbirt und zurückgehalten werden.

Ueber die Reſorption von Flüſſigkeiten durch thieriſche Blaſen hat Liebig Verſuche angeſtellt, welche den Vorgang bei den endosmotiſchen Erſcheinungen ſehr ſchön erläutern.

100 Gewichtstheile trockene Ochſenblaſe nehmen in 24 Stunden auf:

268	Gewichtstheile	Waſſer,
133	„	Kochſalzlöſung (1,204 ſpecif. Gewicht),
38	„	Weingeiſt (84 Proc.),
17	„	Knochenöl.

Das Abſorptionsvermögen der thieriſchen Membranen für verſchiedenartige Flüſſigkeiten iſt alſo ſehr ungleich. In Waſſer gelegt, quillt die Blaſe auf und wird weich, in Alkohol bleibt ſie hart.

Wenn eine Blaſe, welche irgend eine Flüſſigkeit reſorbirt hat, mit einer Subſtanz in Berührung gebracht wird, welche gleichfalls eine Anziehung auf die Theilchen der reſorbirten Flüſſigkeit äußert, ſo wird ein Theil dieſer Flüſſigkeit der Blaſe entzogen.

Wenn z. B. eine mit Waſſer geſättigte Blaſe mit Kochſalz beſtreut wird, ſo entſteht überall da, wo das Salz mit dem Waſſer, welches die offenen Poren erfüllt, in Berührung kommt, eine geſättigte Salzlöſung; da aber die Reſorptionsfähigkeit der Blaſe für die Salzlöſung geringer iſt als für reines Waſſer, ſo tritt ein Theil der Flüſſigkeit aus und fließt in Tropfen ab; dabei ſchrumpft die Blaſe zuſammen.

Wird ein Stück mit Waſſer geſättigter Blaſe in Alkohol gelegt, ſo verliert ſie in 24 Stunden ungefähr die Hälfte ihres Gewichtes, was von einem Zuſammenſchrumpfen und Hartwerden der Blaſe begleitet iſt.

Dieſe Thatſachen erläutern nun den Vorgang der Endosmoſe ganz vortrefflich.

Wenn eine Membran zur Trennung zweier Flüssigkeiten dient, so wird sie von jedem der getrennten Stoffe eine gewisse Quantität, je nach der Größe der Molekularanziehung, in sich aufnehmen; die resorbirte Flüssigkeit wird aber nach der anderen Seite der Blase wieder austreten, weil sie von dort her durch eine chemische Anziehung den Poren der Blase entzogen wird. Dieser Proceß wird fortdauern, bis die auf beiden Seiten befindlichen Flüssigkeiten einander gleich geworden sind.

Die Diosmose erklärt mehrere Erscheinungen, welche wir im täglichen Leben wahrnehmen.

Wenn man einen Rettig in Scheiben schneidet und dieselben mit Salz bestreut, so sind sie in kurzer Zeit ganz mit Wasser bedeckt. Hier zieht das Salz das Wasser aus den Zellen der Rettigscheiben heraus.

Trockene Erbsen und Bohnen quellen in Wasser gelegt stark auf, weil das Wasser in Folge eines diosmotischen Processes durch die Hülle in das Innere derselben eindringt.

Fünftes Capitel.

Vom Gleichgewicht der Gase und dem atmosphärischen Druck.

---

51 **Schwere der Luft.** Die Luft ist ein Körper, welcher nicht unmittelbar so auf die Sinne wirkt wie die festen und tropfbar flüssigen Körper; aber mittelbar erkennen wir ihre Existenz in zahlreichen Erscheinungen, wie z. B. in den mechanischen Wirkungen des Windes. Unser ganzer Erdball ist mit einer luftförmigen Hülle umgeben, welche den Namen der Atmosphäre führt. Die physikalischen Eigenschaften der Luft, welche diese Atmosphäre bildet, und der luftförmigen Körper überhaupt bilden nun den Gegenstand dieses Capitels.

Schon sehr früh, ja selbst schon vor Aristoteles, vermuthete man, daß die Luft schwer sei. Diese Wahrheit wurde jedoch erst 1640 durch Galiläi bewiesen und etwas später durch Toricelli's schöne Versuche bestätigt. Durch folgenden Versuch läßt sich die Schwere der Luft direct nachweisen: Man macht einen Ballon, Fig. 110, welcher mit einem Hahn versehen ist, mittelst der Luftpumpe luftleer und hängt ihn an dem einen Ende eines Wagebalkens auf; auf die andere Seite legt man Gewichte, bis das Gleichgewicht hergestellt ist. Oeffnet man nun den Hahn, so füllt sich der Ballon wieder mit Luft, das Gleichgewicht wird gestört, und die Wage neigt sich nach der Seite des Ballons hin. Auf der anderen Seite muß man von Neuem Gewichte auflegen, um das Gleichgewicht wieder herzustellen, und zwar gerade so viel, als die Luft im Ballon wiegt. Für einen Ballon von 1 Liter beträgt die Differenz der Gewichte mehr als 1 Gramm, woraus als erste Annäherung folgt, daß 1 Liter Luft unter den gewöhnlichen Umständen mehr als ein Gramm wiegt, d. h. daß das Wasser nicht ganz 1000mal so schwer ist als gewöhnliche Luft.

Fig. 110.

Elasticität der Luft. Es ist bereits auf Seite 11 bemerkt worden, 52
daß die luftförmigen Körper stets ein Bestreben zeigen, sich möglichst auszudehnen. Daß der Luft wirklich diese Eigenschaft zukommt, läßt sich durch folgenden Versuch darthun:

Man legt unter die Glocke der Luftpumpe eine nur wenig Luft enthaltende und deshalb runzelige Thierblase, deren Oeffnung fest zugebunden ist. Nach einigen Kolbenzügen schon bläht sich die Blase auf und ist endlich gerade so straff angespannt, als ob man mit aller Gewalt Luft hineingeblasen hätte. Läßt man die Luft wieder in den Recipienten hineintreten, so schrumpft die Blase wieder zusammen. Die in der Blase eingeschlossene Luft hat also wirklich ein Bestreben, sich auszudehnen; nur wird demselben durch die umgebende Luft Widerstand geleistet. Dieser Druck, welchen die Luft gegen die Wände der sie einschließenden Gefäße ausübt, ist dasjenige, was man ihre Elasticität, ihre Tension, ihre Expansionskraft nennt.

Eine Feder zeigt nur dann Elasticität, wenn man sie zusammendrückt; sie verliert ihre Spannung, sobald sie in ihren ursprünglichen Zustand zurückgekehrt ist. Die Luft hat aber immer eine Expansionskraft, es giebt für sie kein ursprüngliches Volumen, weil sie immer einen größeren Raum einzunehmen strebt. Brächte man ein Liter gewöhnlicher Luft in einen leeren Raum von mehreren Cubikmetern, so würde sie sich in dem ganzen Raume gleichförmig verbreiten, sie würde aber immer noch ein Bestreben haben, sich auszudehnen, und würde also auch noch einen Druck auf die Wände ausüben.

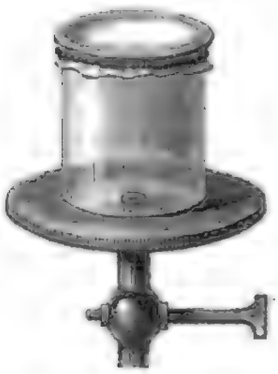
Auf dem Bestreben der Luft, einen möglichst großen Raum einzunehmen, beruht die Einrichtung der Luftpumpe, die wir schon mehrmals angeführt haben und die alsbald näher beschrieben werden soll. Wenn die Luft keine Spannkraft, keine Elasticität in dem eben besprochenen Sinne hätte, so würde sie nicht aus dem Recipienten der Luftpumpe ausströmen und in den Stiefel übergehen können.

Aus der Expansionskraft der Gase folgt, daß sie nicht mit einer freien ebenen Oberfläche begränzt sein können, wie dies bei den Flüssigkeiten der Fall ist. Auf die Luft der Atmosphäre wirken zwei Kräfte, welche sich gegenseitig das Gleichgewicht halten, die Schwere und die Expansionskraft. Durch die Schwere werden die Lufttheilchen nach der Erde angezogen; diese Kraft also äußert ein Bestreben, die Luft auf der Oberfläche der Erde zu verdichten, und diesem Bestreben wirkt die Expansionskraft entgegen. Die Atmosphäre ist wahrscheinlich deshalb begränzt, weil bei einem gewissen Grade der Verdünnung die Expansionskraft so abnimmt, daß die Schwere der Lufttheilchen allein schon hinreicht, eine weitere Entfernung von der Erde zu verhindern.

Druck der Luft. Setzt man auf den Teller der Luftpumpe einen Glas- oder Metallcylinder mit etwas dicken Wänden, welcher oben mit einer gespannten und an dem Rande festgebundenen Thierblase verschlossen ist, so erleidet vorerst die Blase von beiden Seiten gleichen Druck und bildet deshalb eine Ebene. Wenn man nun auf irgend eine Weise mehr Luft in den Cylinder hineinbliese, so würde sich die Blase nach außen wölben; zieht man umgekehrt

die Luft aus dem Cylinder heraus, so gewinnt der äußere Luftdruck das Uebergewicht und drückt die Blase nach innen. Letzteres läßt sich leicht mit Hülfe der Luftpumpe bewerkstelligen. Bei den ersten Kolbenzügen schon wird die Blase nach innen gekrümmt; je mehr man auspumpt, desto mehr nimmt die Krümmung zu, bis sie endlich in Stücke reißt, wobei man einen Knall wie einen Pistolenschuß hört. Dieser Knall wird durch das heftige Eindringen der Luft hervorgebracht.

Fig. 111.



Hätte man die ganze Anordnung so geändert, daß die Blase eine schräge Stellung gehabt, oder daß der Luftdruck von unten nach oben gewirkt hätte, so würde man denselben Effect erhalten haben, weil die Luft nach allen Seiten hin auf gleiche Weise drückt.

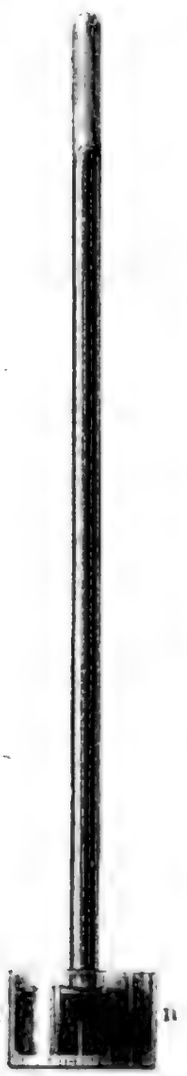
Bei diesem Versuch scheint auf den ersten Anblick auffallend, daß die Luft, welche sich in einem Zimmer befindet, einen so enormen Druck ausüben kann. Von dem Gewichte der Luftsäule, welche auf der Blase ruht und sich von derselben bis zu der Decke des Zimmers erstreckt, kann diese Wirkung freilich nicht herrühren; denn selbst eine Wassersäule von dieser Höhe könnte sie kaum hervorbringen. Hätte man den Versuch unter freiem Himmel angestellt, so hätte die Blase offenbar den Druck einer Luftsäule auszuhalten gehabt, deren Höhe gleich ist der Höhe der ganzen Atmosphäre. Derselbe Druck wirkt aber auch noch im Zimmer, denn die Luft des Zimmers ist ja durch den vollen Atmosphärendruck gepreßt.

54 **Messung des Luftdrucks.** Da die Luft die ganze Erde umgiebt, so preßt sie auf alle Gegenstände auf der Erdoberfläche gerade so wie auf die Blase beim Versuch Fig. 111; sie drückt ebenso auf alle Festländer wie auf die Gewässer. Taucht man das eine Ende einer auf beiden Seiten offenen Röhre in ein mit Wasser gefülltes Gefäß, so wird sich die Flüssigkeit in der Röhre so hoch stellen wie außerhalb, weil der Luftdruck in der Röhre gerade so auf das Niveau der Flüssigkeit wirkt wie außerhalb. Saugt man aber einen Theil der Luft aus der Röhre, so steigt die Flüssigkeit in ihr um so mehr, je länger man saugt. Durch dieses Saugen wird nämlich der Luftdruck im Innern der Röhre vermindert, während der äußere Luftdruck unverändert bleibt. Der Ueberfluß des äußern Luftdrucks nun preßt die Flüssigkeit im Innern der Röhre in die Höhe, bis das Gewicht der gehobenen Wassersäule diesem Ueberschusse das Gleichgewicht hält. Macht man das Innere der Röhre vollkommen luftleer, so muß das Wasser so hoch steigen (vorausgesetzt, daß das Rohr hoch genug ist), daß das Gewicht der gehobenen Wassersäule dem Gewicht einer bis zur Gränze der Atmosphäre reichenden Luftsäule von derselben Basis gleich ist. Auf diese Weise kann man das Gewicht der ganzen Luftsäule bestimmen, wie hoch sie auch sein mag.

Den Pumpenmachern von Florenz verdanken wir den ersten Keim der Entdeckung dieses wichtigen Gesetzes. Als sie in einem Saugrohre das Wasser über 32 Fuß heben wollten, sahen sie zu ihrem größten Erstaunen, daß es nicht

höher stieg. Damals erklärte man das Aufsteigen der Flüssigkeiten, indem man sagte, die Natur habe einen horror vacui, eine Abneigung gegen den luftleeren Raum. Galiläi genügte eine solche Erklärung nicht, und als ihm die von den Pumpenmeistern gemachte Beobachtung mitgetheilt wurde, kam er gleich auf die Vermuthung, daß die Schwere der Luft die wahre Ursache der Erscheinung sei. Sein Schüler Toricelli gab dafür entscheidende Beweise. Er machte ungefähr folgende Schlußfolge. Damit eine Flüssigkeitssäule einer anderen das Gleichgewicht halte, müssen die Höhen der beiden Säulen sich umgekehrt verhalten wie ihre specifischen Gewichte (siehe Seite 65). Das Quecksilber ist nahe 14mal so schwer als Wasser; wenn nun der Druck der atmosphärischen Luft eine Wassersäule von 32 Fuß tragen kann, so muß er demnach auch eine Quecksilbersäule von $^{32}/_{14}$ Fuß, d. h. von nahe 28 Zoll, tragen können. Der Versuch ist leicht anzustellen. Man füllt eine Glasröhre, welche ungefähr 30 Zoll lang und an dem einen Ende zugeschmolzen ist, mit Quecksilber, hält das offene Ende mit dem Finger zu, kehrt die Röhre um und taucht das mit dem Finger verschlossene Ende in ein Gefäß mit Quecksilber, Fig. 112. Zieht man den Finger alsdann weg, so wird das Quecksilber alsbald um einige Zoll fallen, und zwar so weit, daß die Erhebung des Quecksilbers in der Röhre über das Niveau des Quecksilbers in dem Gefäß so groß ist, wie es aus den eben angeführten Betrachtungen folgt. Die in der Röhre befindliche Quecksilbersäule ist als ein Gegengewicht gegen den atmosphärischen Luftdruck zu betrachten. Dieser Apparat ist das Barometer (Schweremesser). Der leere Raum über der Quecksilbersäule des Barometers ist die Toricelli'sche Leere.

Fig. 112.



Die verticale Höhe der Quecksilberkuppe in der Röhre über dem Niveau des Gefäßes heißt die Barometerhöhe.

Die Barometerhöhe, also auch die Größe des Luftdrucks ist keineswegs für alle Orte der Erde dieselbe; sie nimmt vielmehr ab mit der Erhebung über den Meeresspiegel, weil ja mit solcher Erhebung die Höhe der über uns befindlichen Luftsäule abnimmt. In einer Höhe von 17000 Fuß über dem Meeresspiegel ist die Barometerhöhe kaum halb so groß als am Ufer des Meeres.

Darauf gründet sich die Anwendung des Barometers zu Höhenmessungen. Wenn man gleichzeitig am Fuße eines Berges und auf dem Gipfel desselben den Barometerstand mißt, so kann man aus der Differenz der beiden Barometerstände auf den Höhenunterschied der beiden Stationen schließen. Näheres über barometrische Höhenmessung findet man in §. 19 des Supplementbandes.

Aber auch an einem und demselben Orte ist der Barometerstand veränderlich, wie dies weiter unten in der Meteorologie ausführlicher besprochen werden soll.

Am Ufer des Meeres beträgt die Barometerhöhe 76 Centimeter oder, was sehr nahe dasselbe ist, 28 Pariser Zoll. Eine solche Quecksilbersäule von 1 Quadratcentimeter Grundfläche hat einen Cubikinhalt von 76 Cubikcentimeter. Da nun 1 Cubikcentimeter Quecksilber 13,59 Gramm wiegt, so ist der Druck dieser Säule auf ihre Basis 76 × 13,59 Gramm = 1,033 Kilogramm. Bei einem Barometerstande von 76 Centimeter (28 Pariser Zoll) drückt also die atmosphärische Luftsäule auf ein Flächenstück von 1 Quadratcentimeter Inhalt mit einem Gewichte von 1,033 Kilogramm, auf einen Quadratzoll ungefähr mit einem Gewicht von 15 Pfund.

Dieser Druck (1,033 Kilogramm auf jedes Quadratcentimeter oder 15 Pfund auf jeden Quadratzoll) wird als Atmosphärendruck oder als Druck einer Atmosphäre bezeichnet.

55 **Construction des Barometers.** Fig. 112 zeigt das Barometer in seiner ursprünglichen Form, bei welcher das Rohr und das Gefäß nicht fest zusammenhängende Stücke sind. Bei dem gewöhnlichen Barometer sind jedoch Rohr und Gefäß in der Weise zu einem einzigen Stücke verbunden, wie es Fig. 113 zeigt; das unten umgebogene Rohr endigt nämlich mit einer oben offenen Erweiterung, welche das Gefäß des Barometers bildet. Wenn das Gefäß etwas weit ist in Vergleich zu dem Durchmesser der Röhre, so sind die Schwankungen der Säule fast ohne Einfluß auf das Niveau des Quecksilbers im Gefäß, so daß man, wenn keine große Genauigkeit gefordert wird, dieses Niveau als constant betrachten kann. Bei diesen Barometern, die man zu genauen Untersuchungen nicht gebrauchen kann, befindet sich in der Regel die Scala auch nur am oberen Theile des Instrumentes.

Fig. 113.

Solche Barometer, welche nach dem Typus in Fig. 112 oder Fig. 113 construirt sind, nennt man Gefäßbarometer.

Eine andere Grundform des Barometers sind die Heberbarometer, Fig. 114. Sie sind aus einem heberförmig gebogenen Glasrohre verfertigt, so daß also der Quecksilberspiegel, auf welchen der Luftdruck wirkt, sich in einer Röhre befindet, welche eben so weit ist wie das Röhrenstück, welches die obere Quecksilberkuppe enthält.

Es ist klar, daß in solchen Instrumenten bei verändertem Luftdruck die beiden Kuppen ihren Stand gleichzeitig ändern, und zwar wird die obere stets um so viel steigen, wie die untere fällt, und umgekehrt.

Um mit Hülfe eines solchen Instrumentes die wahre Barometerhöhe zu finden, macht man entweder die Scala oder das Barometerrohr selbst verschiebbar. In beiden Fällen

stellt man das Instrument vor dem Ablesen der oberen Kuppe so ein, daß der Gipfel der unteren Kuppe mit dem Nullpunkt der Theilung zusammenfällt.

Unsere Figur stellt ein Barometer dar, bei welchem das Rohr selbst verschiebbar ist. Es ist auf der Messingplatte *d* befestigt, welche mit Hülfe der Schraube *s* auf- und niedergeschoben werden kann, wodurch dann auch das Barometerrohr selbst gehoben oder gesenkt wird, indem die messingenen Halter *b* und *c* dasselbe zwar auf dem Brette halten, aber doch eine Verschiebung in verticalem Sinne gestatten.

Fig. 114.

Sind Rohr und Scala fest, so ist eine Ablesung der oberen und der unteren Kuppe nöthig, um die Barometerhöhe zu erfahren.

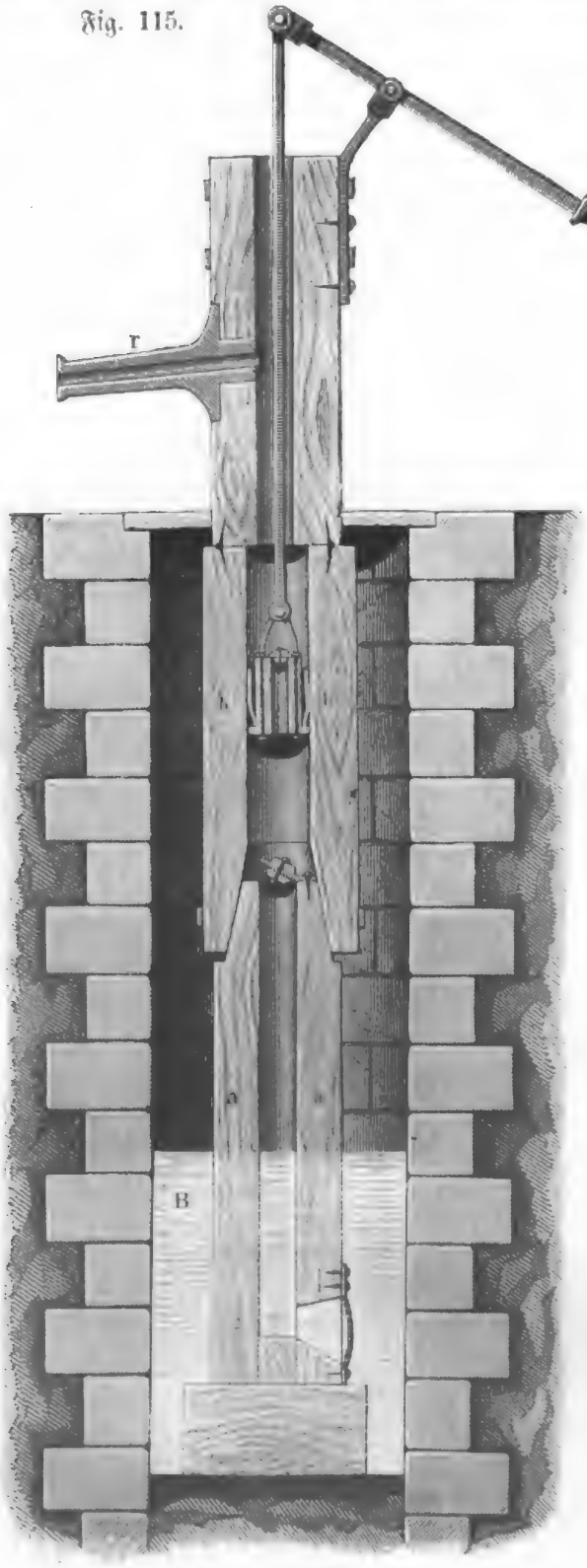
Welche Form man auch einem Barometer geben mag, so müssen doch immer gewisse Bedingungen erfüllt sein, wenn das Instrument genau die Größe des Luftdrucks angeben soll. Zunächst muß die Höhe der Quecksilbersäule genau gemessen werden können, und das ist nur möglich, wenn das Rohr eine vollkommen verticale Stellung hat. Die Scala befindet sich entweder auf einem Messingstreifen, welcher in das Brett eingelassen ist, auf welchem das Rohr befestigt wird, oder sie ist auf das Rohr selbst eingeätzt.

Der Raum über der Quecksilbersäule muß vollkommen luftleer sein, was man nur dadurch vollständig erreicht, daß man das Quecksilber in der Röhre kocht; denn nur dadurch ist es möglich, alle Luft und alle Feuchtigkeit, welche an den Glaswänden anhaften, zu entfernen. Das Auskochen der Barometer ist eine Operation, welche viel Uebung und Geschicklichkeit erfordert. Wenn in der Toricelli'schen Leere noch etwas Luft zurückgeblieben ist, so erkennt man dies daran, daß sich beim Neigen des Rohrs dasselbe nicht vollständig mit Quecksilber füllt, sondern daß ein kleines Luftbläschen am Gipfel der Röhre zurückbleibt. Der Fehler, der daraus entsteht, ist um so geringer, je größer das Volumen der leeren Kammer ist.

Endlich muß das Quecksilber vollkommen rein und der Durchmesser der Röhre nicht zu klein sein. Wenn die Röhre zu eng ist, so übt die Adhäsion und die Reibung des Quecksilbers an den Glaswänden einen so bedeutenden Einfluß aus, daß die Quecksilberkuppe oft in einer Höhe stehen bleibt, welche bald höher, bald tiefer ist, als sie der Höhe des Luftdrucks nach sein sollte. Wenn man in einem solchen Falle das Barometer etwas anstößt, so sieht man die Quecksilbersäule augenblicklich etwas steigen oder fallen, je nachdem der vor-

herige Stand zu tief oder zu hoch war, weil durch den Anſtoß das Hinderniß der Bewegung überwunden wird.

Fig. 115.



56 **Pumpen.** Wir haben bereits in Paragraph 54 geſehen, daß man durch Saugen an dem oberen Ende einer Röhre, deren unteres Ende in Waſſer getaucht iſt, das Steigen deſſelben in der Röhre bewirken kann. Die Luftverdünnung, welche in dieſem Falle durch den Mund erzeugt wurde, kann man aber auch dadurch hervorbringen, daß man in das Rohr einen luftdicht ſchließenden Kolben einſetzt. Iſt das untere Ende des Rohres in Waſſer eingetaucht, ſo füllt ſich das Rohr mit dieſer Flüſſigkeit, wenn man den Kolben in die Höhe zieht, wie ſich dies an den gewöhnlichen Spritzbüchſen zeigen läßt.

Dies Princip wird nun auch bei den Pumpen zur Hebung bedeutenderer Waſſermengen angewandt. Fig. 115 ſtellt eine Saugpumpe der einfachſten Conſtruction dar. Das hölzerne Saugrohr *a* ſteht in dem Brunnenſchacht, und zwar geht es bis unter den Spiegel des in der Tiefe ſich ſammelnden Waſſers *B* hinab. Das Waſſer kann

durch eine seitliche Oeffnung, welche zur Abhaltung von Unreinigkeiten durch ein Sieb verschlossen ist, in das Saugrohr eintreten. Auf das nach den Umständen kürzere oder längere, aus einem oder mehreren Stücken bestehende Saugrohr ist nun das etwas weitere, zwischen 2 und 3 Fuß hohe, genau cylindrisch ausgebohrte Kolbenrohr *b* aufgesetzt, in welchem ein Kolben luft- und wasserdicht schließend auf- und abbewegt werden kann.

Das obere Ende des Saugrohres *a* ist durch ein Ventil (hier eine in der Mitte mit Metall beschlagene Lederklappe) bedeckt, welches durch einen Druck von unten gehoben, also geöffnet, durch einen Druck von oben aber fest auf die Oeffnung aufgedrückt, also geschlossen wird. Dieses Ventil bildet gewissermaßen den Boden des Kolbenrohres *b* und wird deshalb das Bodenventil genannt.

Der im Kolbenrohr befindliche Kolben ist an einer eisernen Stange befestigt, welche durch eine passende Hebelvorrichtung bewegt werden kann; dieser Kolben ist selbst wieder hohl, und das obere Ende dieser Höhlung ist mit einem Ventil in gleicher Weise versehen wie das obere Ende des Saugrohres, so daß es durch einen Druck von oben geschlossen, durch einen Druck von unten geöffnet wird.

Der Umfang dieses Kolbens ist durch eine Lederkappe gebildet, welche unten um den hölzernen Kolben herum festgenagelt ist, oben aber frei von demselben absteht, so daß, wenn sich einmal Wasser über dem Kolben befindet, dasselbe die Lederkappe fest gegen die Röhrenwände anpreßt, wodurch dann ein guter Schluß erhalten wird.

Wenn der eben am unteren Ende des Kolbenrohres befindliche Kolben in die Höhe gezogen wird, so wirkt er wie ein massiver Kolben, weil sich das Kolbenventil schließt, und es bildet sich unter demselben ein luftverdünnter Raum; das Bodenventil öffnet sich, und das Wasser steigt in dem Saugrohre in die Höhe. Beim Niedergang des Kolbens schließt sich zunächst das Bodenventil, wodurch das Zurückfallen des aufgesaugten Wassers verhindert wird, das Kolbenventil aber öffnet sich und läßt die noch im Kolbenrohre befindliche Luft durch.

Erst nach mehrmaliger Wiederholung dieser Operation, wenn das Wasser bis in das Kolbenrohr gestiegen ist, beginnt die Pumpe wirklich Wasser zu fördern. Ist aber einmal die Pumpe mit Wasser gefüllt, so wird bei jedem Niedergange des Kolbens das im Kolbenrohre befindliche Wasser, welchem nun durch das Bodenventil der Rückweg verschlossen ist, durch den Kolben hindurchgehen; bei jedem Aufziehen des Kolbens wird das bereits über demselben befindliche Wasser aus dem Kolbenrohre in das Steigrohr gehoben, aus welchem es dann durch die seitliche Oeffnung *r* abfließt, während zugleich eine neue Wassermenge von unten her in das Kolbenrohr eingesaugt wird.

Bei vollkommen luftdichtem Schluß des Kolbens und der Ventile würde man bei mittlerem Luftdruck das Wasser nahe bis zu 32 Fuß aufsaugen können; bei der geringen Vollkommenheit jedoch, mit welcher solche Pumpen ausgeführt sind, darf das Bodenventil nicht wohl mehr als 20 Fuß über dem Wasserspiegel im Bassin angebracht sein.

Eine etwas anders construirte Saugpumpe sieht man Fig. 116 (a. f. S.) abgebildet.

Diese Figur bedarf wohl keiner weiteren Erläuterung.

Um das Wasser auf größere Höhe zu heben, um es in Dampfkessel hineinzupressen u. s. w., werden Druckpumpen angewandt, welche sich von den vorigen dadurch unterscheiden, daß der Kolben massiv ist und daß das aufgesaugte Wasser durch ein seitliches Rohr in die Höhe gedrückt wird, dessen unteres Ende durch ein nach oben sich öffnendes Ventil geschlossen wird. Fig. 117 stellt eine Druckpumpe dar; *h* ist das Saugrohr, *r* das Kolbenrohr, *s* das Steigrohr.

Fig. 116.

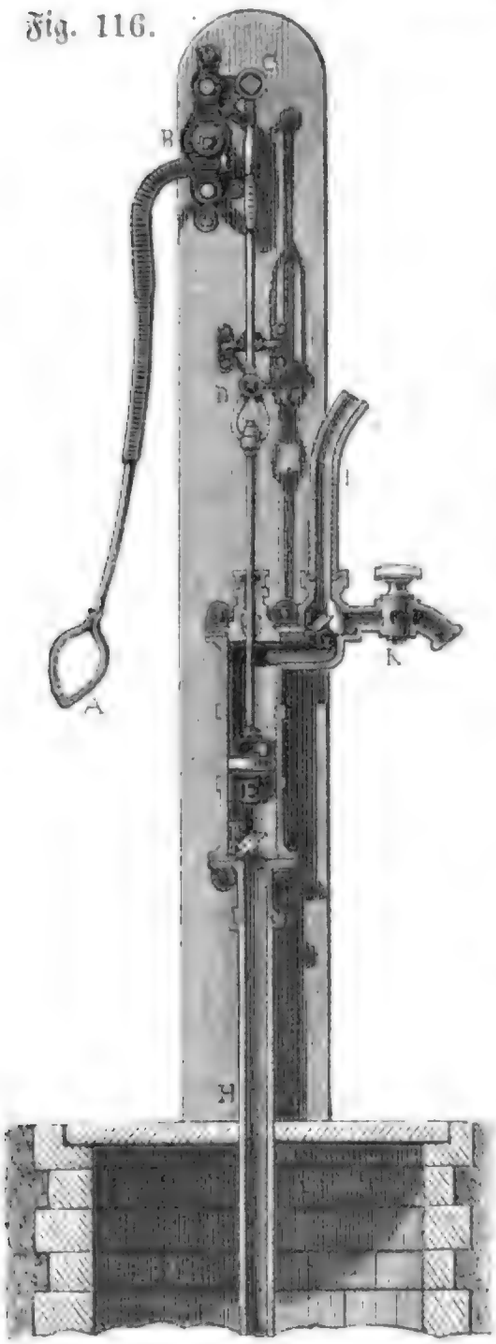
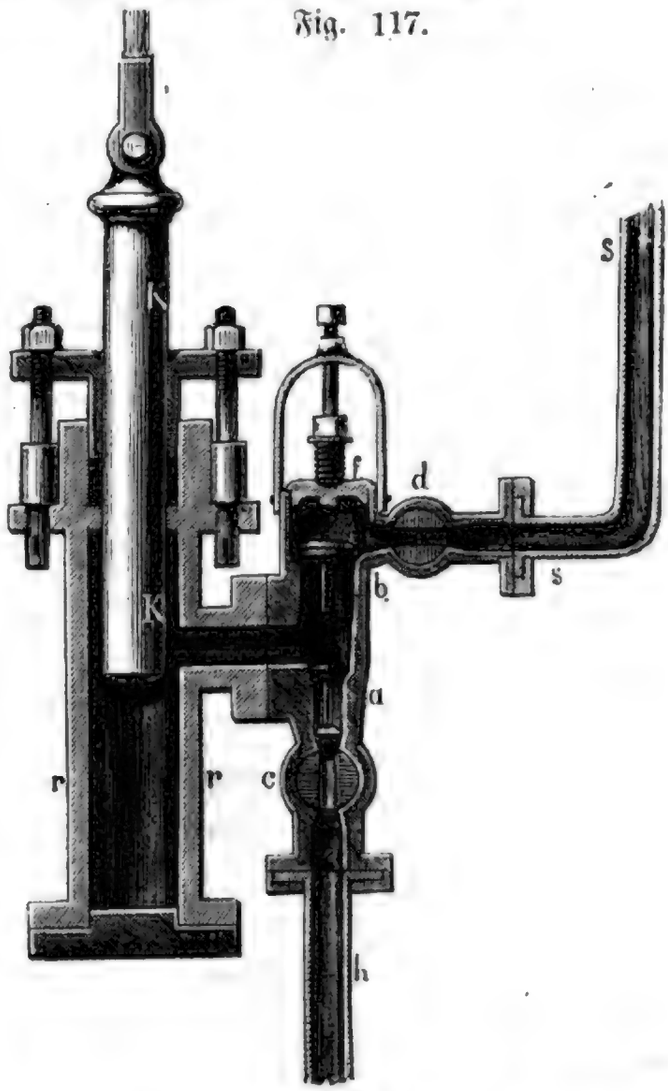


Fig. 117.



Der massive Kolben *K* geht luftdicht durch die Stopfbüchse, welche das obere Ende des Kolbenrohres schließt. Beim Aufgang des Kolbens hebt sich das Saugventil *a*, um Wasser aus dem Saugrohr durchzulassen, während das Druckventil *b* geschlossen bleibt; beim Niedergang des Kolbens schließt sich *a*, und das vorher aufgesaugte Wasser wird nun durch das geöffnete Ventil *b* in das Steigrohr *s* gepreßt.

Bei *d* und *c* sind Hähne angebracht, die man abstellen kann, wenn die Pumpe nicht mehr arbeiten soll.

Der Deckel *f* kann entfernt werden, wenn man die Ventile nachsehen will. Er ist durch eine starke Drahtfeder aufgedrückt, so daß er gehoben wird, wenn

der Druck zu stark werden sollte, wie es z. B. erfolgen kann, wenn das Steigrohr sich verstopft hat oder der Hahn *d* geschlossen bleibt, während *c* offen ist und die Ventile spielen. Der Deckel *f* dient also in diesem Falle als Sicherheitsventil, indem durch sein Heben das Bersten der Röhrenwände verhindert wird.

Der Heber. Wenn man ein Trinkglas, dessen Rand recht gleichförmig 57
ist (am besten ein geschliffenes Glas), ganz mit Wasser füllt, ein Papier darauf deckt und dann das Glas umkehrt, so läuft das Wasser nicht aus; der gegen die untere Fläche des Papiers wirkende Luftdruck hindert das Herabfallen der Wassermasse. Das Papier ist nur deshalb nöthig, um das Glas umkehren zu können und um zu verhindern, daß das Wasser an den Seiten ausläuft und statt dessen Luftblasen in das Gefäß eindringen. Wenn die untere Oeffnung klein genug ist, um ein solches Auslaufen zu verhindern, wie dies beim Stechheber der Fall ist, so ist das Papier nicht mehr nöthig. Der Stechheber ist gewöhnlich ein röhrenförmiges Gefäß, Fig. 118 und 119, welches oben und unten etwas enger und an beiden Enden offen ist. Taucht man es, wenn beide Oeffnungen frei sind, ganz in eine Flüssigkeit, so füllt es sich mit derselben, und wenn man nun die obere Oeffnung mit dem Daumen verschließt, so kann man den Stechheber in die Höhe ziehen, ohne daß die in demselben enthaltene Flüssigkeit ausläuft.

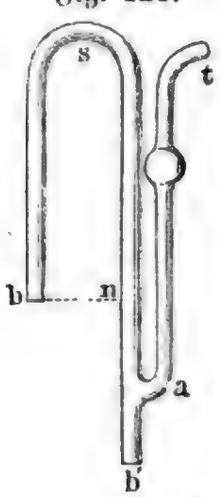
Fig. 118. Fig. 119. Fig. 120.

Der Heber ist eine gekrümmte Röhre *b s a* Fig. 120, deren Schenkel ungleiche Länge haben. Wenn der kürzere Schenkel in eine Flüssigkeit eingetaucht ist und man die ganze Röhre durch Saugen bei *a* mit derselben gefüllt hat, so läuft sie am Ende *a* des längeren Schenkels, welches tiefer liegt als *b*, fortwährend aus; man kann also mit Hülfe eines Hebers leicht ein Gefäß entleeren. Die Wirkung des Hebers ist leicht zu erklären. Auf der einen Seite hat die Wassersäule *s a*, auf der anderen die Wassersäule von *s* bis zum Spiegel der Flüssigkeit im Gefäß ein Bestreben, vermöge ihrer Schwere herabzufallen; der Schwere der in beiden Schenkeln befindlichen Wassersäulen wirkt aber auf beiden Seiten der Luftdruck entgegen, welcher auf der einen Seite gegen die Oeffnung *a*, auf der anderen aber auf den Spiegel des Wassers im Gefäß wirkt und dadurch die Bildung eines leeren Raumes im Inneren der Röhre verhindert, welcher sich nothwendigerweise bei *s* bilden würde, wenn die Wassersäulen auf beiden Seiten herabliefen. Da der Luftdruck auf der einen Seite so stark wirkt wie auf der anderen, so würde vollkommenes Gleichgewicht stattfinden, wenn die Wassersäulen in den beiden Schenkeln gleich hoch wären, wenn sich also die Oeffnung *a* in der Höhe des Wasserspiegels im Gefäße befände; sobald

aber a tiefer liegt, erhält die Wassersäule im Schenkel sa das Uebergewicht und in dem Maße, als hier das Wasser ausläuft, wird auf der anderen Seite durch den Luftdruck von Neuem Wasser in die Röhre hineingetrieben, so daß das Ausfließen bei a fortdauert, bis der Spiegel der Flüssigkeit im Gefäß auf die Höhe der Oeffnung a gefallen oder die Oeffnung bei b frei geworden ist.

Um den Heber bequem füllen und in Wirksamkeit setzen zu können, wird eine Saugröhre at, Fig. 121, angebracht. Einen gewöhnlichen Heber füllt man nämlich dadurch, daß man bei a, Fig 120, saugt; dabei ist aber nicht zu vermeiden, daß man etwas von der Flüssigkeit in den Mund bekommt, was in manchen Fällen unangenehm, oft sogar gefährlich sein kann, wie z. B. wenn man den Heber anwenden will, um ein Gefäß mit Schwefelsäure zu entleeren. In einem solchen Falle ist das Saugrohr unentbehrlich; wenn man die Röhre bei b', Fig. 121, verschließt, so kann man durch Saugen bei t den ganzen Schenkel sb' füllen, ohne daß die Flüssigkeit an den Mund kommt. Das Auslaufen beginnt alsdann, sobald man das Röhrenende b' wieder öffnet.

Fig. 121.



58 **Das Mariotte'sche Gesetz.** Das Volumen der Gase verhält sich umgekehrt wie der Druck, dem sie ausgesetzt sind. Um dieses Fundamentalgesetz durch den Versuch zu beweisen, nehme man eine gekrümmte cylindrische Röhre, deren kürzerer Schenkel oben geschlossen ist, während der längere Schenkel offen bleibt (Fig. 122). Man gieße zu Anfang nur wenig Quecksilber ein, neige dann den Apparat ein wenig, damit etwas Luft aus dem kürzeren Schenkel entweicht; so kann man es leicht dahin bringen, daß das Quecksilber in beiden Schenkeln gleich hoch steht, Fig. 123. Alsdann ist die in dem geschlossenen Schenkel MA abgesperrte Luft genau dem Druck der Atmosphäre ausgesetzt. Gießt man nun von Neuem Quecksilber in den offenen Schenkel, so wird der Druck, den die eingeschlossene Luft auszuhalten hat, vermehrt, sie wird dadurch auf einen kleineren Raum zusammengepreßt. Wenn das Quecksilber im kürzeren Schenkel bis zum Punkte N, Fig. 124, gestiegen ist, welcher sich in der Mitte zwischen M und dem Gipfel der geschlossenen Röhre befindet, so ist die Luft auf die Hälfte ihres vorherigen Volumens zusammengepreßt. Bezeichnet man nun auf dem längeren Schenkel den Punkt N', welcher mit N gleiche Höhe hat, und mißt man dann, wie hoch das Quecksilber sich im längeren Schenkel noch über N' erhebt, so findet man, daß die Höhe dieser Quecksilbersäule $N'C$ genau der Barometerhöhe gleich ist; die im kurzen Rohre eingeschlossene Luft hat demnach einen Druck von 2 Atmosphären auszuhalten. Wenn der offene Schenkel dieses Apparates lang genug ist, so kann man auf dieselbe Weise zeigen, daß ein Druck von 3, 4 Atmosphären die eingeschlossene Luft auf $1/3$, $1/4$ ihres ursprünglichen Volumens zusammenpreßt. Arago und Dulong haben bewiesen, daß dieses Gesetz für atmosphärische Luft wenigstens bis zu einem Drucke von 27 Atmosphären noch keine Aenderung erleidet.

Durch diese Versuche ist die Richtigkeit des Mariotte'schen Gesetzes von einem Druck von 1 Atmosphäre bis zu einem Druck von 27 Atmosphären bewiesen; für einen Druck aber, welcher geringer ist als 1 Atmosphäre, kann man es mit Hülfe des folgenden Apparates bestätigen.

Fig. 122.

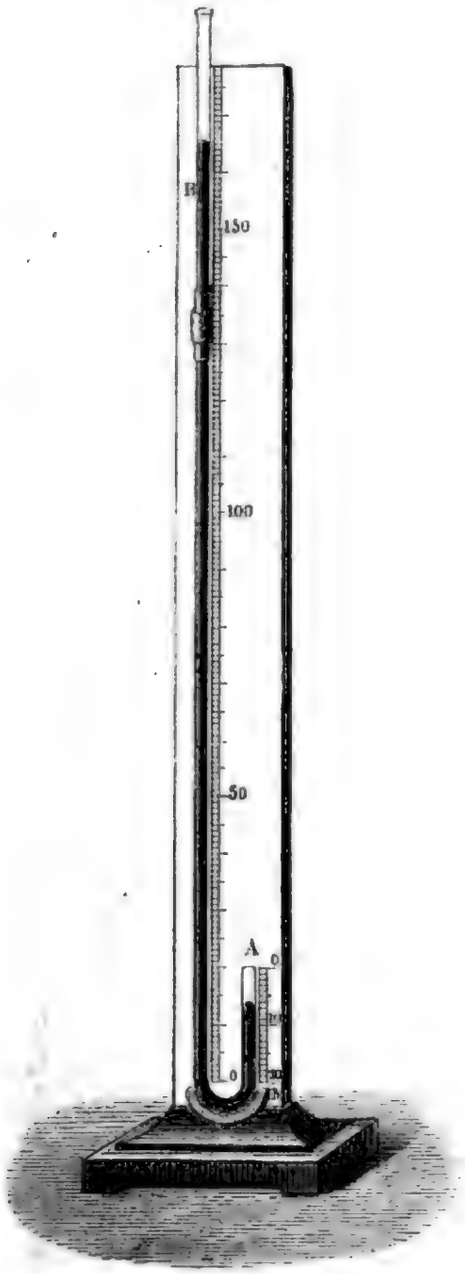
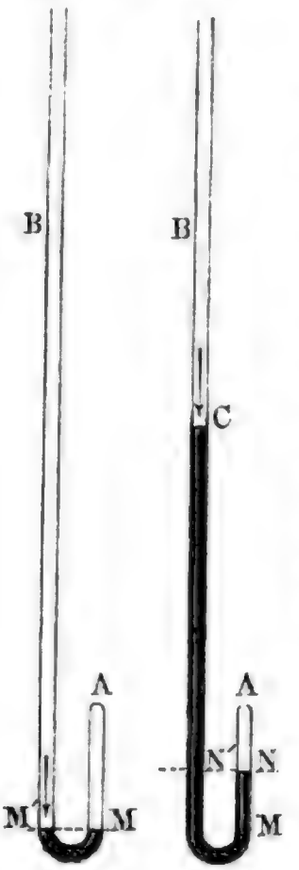


Fig. 123. Fig. 124.

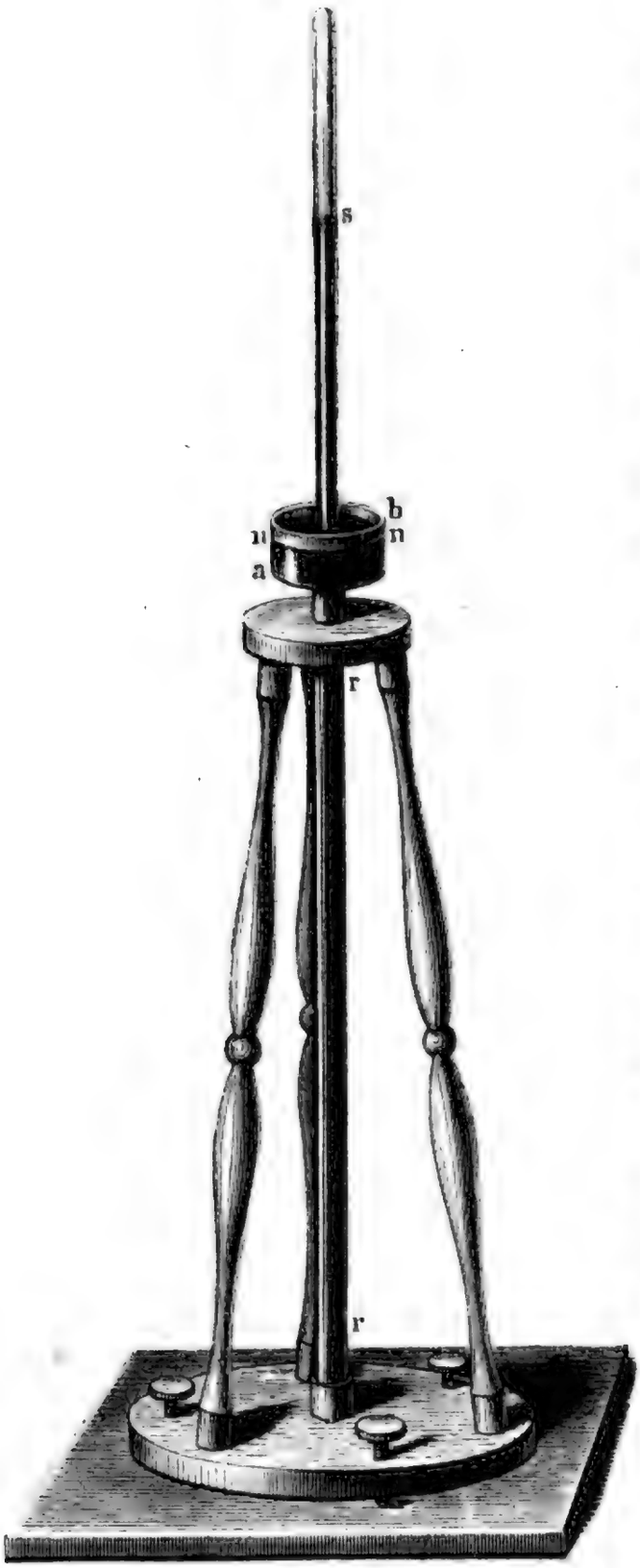


Eine etwas weite Röhre *r*, Fig. 125 (a. f. S.), von Glas oder Eisen, welche oben in ein weiteres Gefäß endigt und unten geschlossen ist, wird in einem Gestelle so angebracht, daß sie vertical steht. Sie wird etwa bis *n* mit Quecksilber vollgegossen. Nun füllt man eine Barometerröhre, wie zum Toricelli'schen Versuche (Paragraph 54), mit Quecksilber, jedoch nicht ganz voll, sondern nur so weit, daß noch etwa 3 bis 5 Centimeter nicht mit Quecksilber angefüllt sind. Verschließt man die Oeffnung mit dem Finger, kehrt sie dann um, so wird die Luftblase in den oberen Theil der Röhre hinaufsteigen. Wenn man nun, wie beim Toricelli'schen Versuche, das untere Ende der Röhre in das Quecksilber des Gefäßes *a b* taucht und dann den Finger von der Oeffnung wegzieht, so wird die Quecksilbersäule im Barometerrohre bis auf einen bestimmten Punkt fallen. Man wird aber sogleich bemerken, daß der Gipfel der Quecksilbersäule nicht so hoch über *n n* steht, als die Barometerhöhe beträgt, weil ja im oberen Theile unserer Röhre sich Luft befindet und kein Vacuum, wie beim Barometer.

Wenn man die Röhre niederdrückt, so daß sie weiter und weiter in das Quecksilber des weiten Rohres hinabreicht, so wird das Volumen der oben eingeschlossenen Luft immer kleiner. Drückt man nun die Röhre so weit hinab,

daß das Quecksilber im Rohre genau in der Höhe des Quecksilberspiegels *n n* steht, so steht die abgesperrte Luft genau unter dem Drucke einer Atmosphäre.

Fig. 125.



Die Höhe der abgesperrten Luftsäule, welche dem Druck von einer Atmosphäre ausgesetzt ist, wird nun gemessen; sie betrage 5 Centimeter.

Zieht man das Rohr wieder in die Höhe, so vermehrt sich das Volumen der abgesperrten Luft, zugleich aber erhebt sich auch die Quecksilberkuppe im Rohr über den Spiegel *n n*. Gesetzt, man habe das Rohr so weit gehoben, daß die abgesperrte Luft eine Länge von 10 Centimetern in der Röhre einnimmt, so wird die Höhe der Quecksilberkuppe *s* über den Spiegel *n n* gerade die Hälfte des im Augenblick zu beobachtenden Barometerstandes sein. Stände das Barometer auf 760 Millimeter, so würde die Messingkuppe gerade 380 Millimeter über *n n* stehen.

Die Hälfte des atmosphärischen Drucks ist also durch die Quecksilbersäule, welche sich unter der abgesperrten Luft befindet, aufgehoben, und der Druck, welchen diese abgesperrte Luft auszuhalten hat, ist nur noch dem Druck einer halben Atmosphäre gleich, ihr Volumen aber ist doppelt so groß, als es war, da sie den Druck der ganzen Atmosphäre auszuhalten hatte.

Hebt man die Röhre so weit, daß die abgesperrte Luft eine Länge von 15 Centimetern in der Röhre einnimmt, daß ihr Volumen also 3mal größer geworden ist, so beträgt die Höhe der Quecksilbersäule in unserem Rohr $^2/_3$ der Barometerhöhe; die abgesperrte Luft hat also nur noch einen Druck von $^1/_3$ Atmosphäre auszuhalten.

Um dem Mariotte'schen Gesetz einen mathematischen Ausdruck zu geben, wollen wir bezeichnen

mit V_n

das Volumen einer gegebenen Gasmenge bei dem mittleren (normalen) Barometerstande von 760 Millimeter;

mit V_b

das Volumen derselben Gasmenge bei irgend einem anderen Drucke b, welcher gleichfalls durch die nach Millimetern gemessene Höhe einer Quecksilbersäule ausgedrückt sein soll, welche diesem Druck das Gleichgewicht hält, so haben wir

$$V_n : V_b = b : 760, \text{ also}$$

$$V_b = \frac{V_n \cdot 760}{b} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

statt dieser Formel haben wir

$$V_b = \frac{V_n \cdot 336}{b} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1\,a)$$

zu setzen, wenn der Barometerstand b nicht in Millimetern, sondern in Pariser Linien ausgedrückt ist.

Die Luftpumpe. Zu den unentbehrlichsten und wichtigsten Instru- 59
menten des Physikers gehört die Luftpumpe, welche seit ihrer Erfindung durch Otto von Guerike mancherlei Veränderungen und Verbesserungen erfahren hat. Wir wollen sie zunächst in einer möglichst einfachen Gestalt kennen lernen.

Fig. 126 (a. f. S.) stellt eine Luftpumpe möglichst einfacher Construction, nämlich eine sogenannte Handluftpumpe dar, wie sie gewöhnlich in chemischen Laboratorien gebraucht wird. CC ist der Stiefel, d. h. ein hohler Messingcylinder, in welchem ein luftdicht schließender Kolben A auf- und abbewegt werden kann.

Von dem Boden des Cylinders führt ein verticaler Canal herab bis zu dem horizontalen Rohre s, welches durch ein Glasrohr t mit Hülfe von Kautschukröhrchen mit dem Recipienten g, d. h. mit dem Raume in Verbindung gesetzt werden kann, aus welchem man die Luft entfernen will. Die Glasröhre t verbindet nämlich die Messingröhren s und p, von welchen letztere zu dem verticalen Canale ab führt, der oben in der Mitte des eben abgeschliffenen Tellers dd mündet. Auf diesen Teller wird dann die Glasglocke g aufgesetzt, deren unterer Rand gleichfalls eben abgeschliffen ist, und der des besseren Schlusses wegen mit Talg oder Schweinefett bestrichen wird.

Der Kolben A ist aus verschiedenen Stücken zusammengesetzt, nämlich erstens einem zum Theil hohlen Messingstück K, welches von einer Lederkappe umgeben ist, die fest an die Wände des Cylinders andrückt, und namentlich beim Aufziehen des Kolbens noch durch den von oben her wirkenden Luftdruck an dieselben gepreßt wird, und zweitens aus einem von unten her in K eingeschraubten Metallstück L, welches in der Mitte durchbohrt ist und die Bodenplatte des Kolbens bildet.

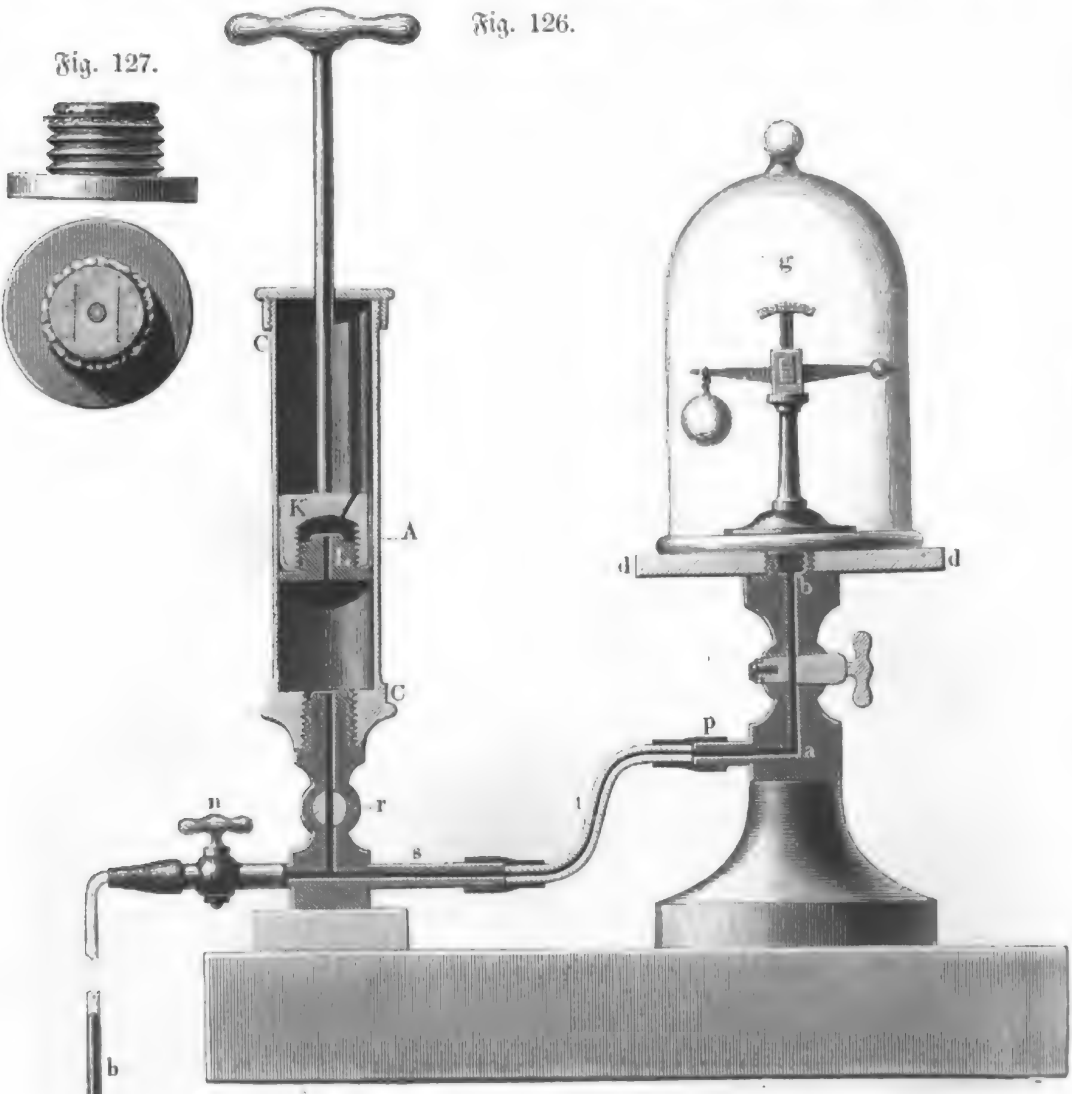
Dieses Metallstück L ist nun oben mit einem Ventil versehen, welches dadurch gebildet wird, daß man ein Stück Schweinsblase so über dasselbe bindet, daß es die Oeffnung des verticalen Canals verschließt, und dann seitlich von dieser Oeffnung zwei Einschnitte anbringt, wie Fig. 127 zeigt, welche das fragliche Stück im Grund- und Aufriß darstellt.

Dieſes Ventil wird feſt auf die Oeffnung aufgepreßt, wenn der Luftdruck von oben her, es wird geöffnet, wenn er von unten her ſtärker iſt.

Wird nun der am unteren Ende des Stiefels C aufſitzende Kolben A in die Höhe gezogen, ſo entſteht unter dem Kolben ein luftverdünnter Raum, und in Folge davon tritt ein Theil der in g befindlichen Luft in den Cylinder über. Wird nun, wenn der Kolben am oberen Ende des Cylinders C angekommen iſt, der Hahn r geſchloſſen und ſo die Communication zwiſchen dem Stiefel C und

Fig. 127.

Fig. 126.



dem Recipienten g unterbrochen, ſo kann beim Niederdrücken des Kolbens A die heruͤbergeſaugte Luft nicht wieder in den Recipienten zurückkehren, die Luft unter dem Kolben wird, da ihr kein Ausweg bleibt, allmälig ſo verdichtet, daß ſie einen ſtärkeren Druck ausübt als die äußere Luft, ſie wird alſo das Kolbenventil heben und durch daſſelbe entweichen.

Sobald der Kolben auf dem Boden des Stiefels angekommen ist, wird der Hahn *r* wieder geöffnet und dann durch Wiederholung derselben Operation von Neuem eine Portion Luft aus dem Recipienten *g* fortgeschafft.

Da das beständige Oeffnen und Schließen des Hahnes *r* lästig ist, so hat man die centrale Oeffnung im Boden des Cylinders mit einem ähnlichen Ventil versehen, wie das ist, welches im Kolben angebracht ist. Dieses untere Ventil öffnet sich beim Aufziehen und schließt sich beim Niederdrücken des Kolbens.

In unserer Figur sehen wir unter der Glocke der Luftpumpe einen Apparat stehen, welcher erst später, und zwar in demjenigen Paragraphen besprochen werden wird, welcher vom Luftballon handelt.

Den Grad der Luftverdünnung, welchen man durch Auspumpen hervorgebracht hat, kann man durch eine sogenannte Barometerprobe messen. Für die kleinen Handluftpumpen ist die Barometerprobe so eingerichtet, wie Fig. 126 zeigt. Eine etwa 30 Zoll lange Glasröhre *b* taucht mit ihrem unteren Ende in ein Gefäß voll Quecksilber; oben ist sie umgebogen und mittelst eines Kautschukröhrchens an die Pumpe befestigt. Wenn der Hahn *n* geöffnet ist, so steigt das Quecksilber in der Röhre *b*, und zwar um so höher, je weiter die Verdünnung getrieben wird. Wenn es möglich wäre, einen ganz luftleeren Raum durch die Luftpumpe zu erzeugen, so würde die Höhe der im Rohre *b* gehobenen Quecksilbersäule der Barometerhöhe gleich sein.

Gewöhnlich bedient man sich, um den durch die Luftpumpe hervorgebrachten Grad der Verdünnung zu messen, des abgekürzten Barometers als Barometerprobe. Fig. 128 stellt ein abgekürztes Barometer in $^1/_3$ der natürlichen Größe dar. Das Quecksilber füllt den zugeschmolzenen Schenkel bei gewöhnlichem Luftdruck ganz aus. Wird nun dieser Apparat aufrechtstehend unter die Glocke der Luftpumpe gebracht, so beginnt das Quecksilber im geschlossenen Schenkel zu sinken, wenn der auf den offenen Schenkel wirkende Luftdruck auf $^1/_4$ Atmosphärendruck reducirt ist. Geht nun die Verdünnung der Luft im Recipienten weiter, so giebt die Höhendifferenz der Quecksilberkuppen in beiden Röhren die Größe des Druckes an, welchen die unter der Glocke noch zurückgebliebene Luft ausübt.

Fig. 128.

Anstatt aber diese Barometerprobe unter die Glocke der Luftpumpe zu stellen, ist sie gewöhnlich in einem besonderen kleinen, durch eine enge Glasglocke gebildeten Recipienten angebracht, welcher gleichfalls mit dem zum Stiefel führenden Canal communicirt und durch einen besonderen Hahn abgestellt werden kann.

Die eben besprochene und abgebildete Luftpumpe war eine Ventilluftpumpe, d. h. eine solche, bei welcher die Unterbrechung und Wiederherstellung der Communication des Stiefels mit dem Recipienten durch ein Ventil bewerkstelligt wird, während auch die aus dem Apparat fortzuschaffende Luft durch ein Ventil entweicht. Für diese Functionen können aber auch Hahnen verwandt werden, und solche Luftpumpen, bei welchen dies der Fall ist, heißen Hahnenluftpumpen.

Das Weſentliche der Einrichtung der Hahnenluftpumpe wird durch Fig. 129 erläutert.

Der Hahn *g*, welcher am unteren Ende des Cylinders ſich befindet, iſt doppelt durchbohrt; ein Canal geht rechtwinklig zur Umdrehungsaxe gerade durch. Er erſcheint in Fig. 129 verkürzt und iſt mit *h* bezeichnet; der andere Canal, welcher in unſerer Figur ſeiner ganzen Länge nach ſichtbar iſt, tritt ſeitwärts in die Maſſe des Metallkegels ein und krümmt ſich dann, um in der Richtung der Umdrehungsaxe des Hahns auszutreten.

Wenn der Kolben niedergeht, ſo hat der Hahn die Stellung Fig. 129; die Luft unter dem Kolben wird alſo durch den gebogenen Canal des Hahns

Fig. 129.

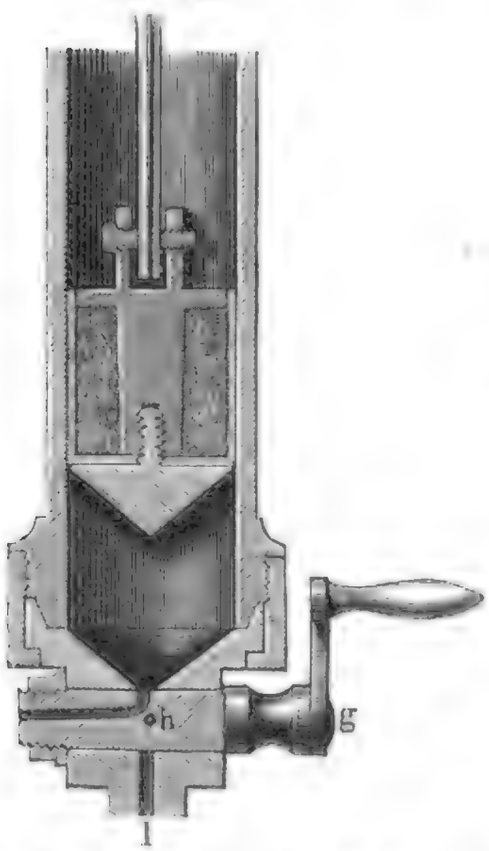


Fig. 130 a.

Fig. 130 b.

ausgetrieben. Wenn der Kolben unten angekommen iſt, wird der Hahn um eine Viertelumdrehung gedreht, ſo daß nun der Canal *h* den unteren Theil des Cylinders mit dem Canal *l* verbindet, der zum Recipienten führt; beim Aufgang des Kolbens wird alſo Luft aus dem Recipienten geſaugt, die nachher beim Niedergang des Kolbens ſeitwärts durch den Hahn fortgeſchafft wird.

Im Uebrigen iſt dieſe Figur wohl ohne nähere Erklärung verſtändlich.

Wie die Verdünnung mit zunehmender Anzahl der Kolbenzüge wächſt und welches die Gränze der Verdünnung ſei, welche mit einer Luftpumpe erreicht werden kann, darüber findet man in §. 20 des Supplementbandes nähere Auskunft.

Otto von Guerike machte mit ſeiner Maſchine den merkwürdigen Verſuch mit den Magdeburger Halbkugeln, Fig. 130 a u. b, welcher darin beſtand, eine Hohlkugel von Metall, deren Hälften nur einfach auf einander geſetzt waren, luftleer zu machen. Vor dem Evacuiren ſind die beiden Hälften leicht zu trennen; wenn aber im Inneren keine Luft mehr vorhanden iſt, um dem äußeren

Luftdruck das Gleichgewicht zu halten, so halten sie außerordentlich stark zusam-
Fig. 131. men. Mag z. B. der Radius der Kugel nur 1 Decimeter sein, so beträgt der Querschnitt der Kugel 314 Quadratcentimeter, und demnach ist der äußere Druck, welcher die Hälften zusammenpreßt, mehr als 314 Kilogramm. Um den Contact vollständiger zu machen, werden die Ränder der Halbkugeln, bevor sie auf einander gesetzt werden, mit Fett beschmiert, wie eine Glocke, bevor man sie auf den Teller setzt; ein Hahn, welcher während des Auspumpens geöffnet ist, wird, bevor man die entleerten Halbkugeln von der Luftpumpe abschraubt, geschlossen, um den Wiedereintritt der Luft zu verhindern.

Man gebraucht die Luftpumpe zu mancherlei Versuchen. Man zeigt z. B., daß brennende Körper im luftleeren Raume verlöschen; daß der Rauch als ein schwerer Körper zu Boden fällt; daß Luft im Wasser gleichsam aufgelöst ist; daß sich eine Luftschicht zwischen den Flüssigkeiten und den Wänden der Gefäße befindet, in welchen sie enthalten sind; denn diese Luftschicht zeigt sich in Form kleiner Bläschen, welche in dem Verhältniß wachsen, als der Luftdruck abnimmt. Mit Hülfe der Luftpumpe kann man laues Wasser zum Kochen bringen u. s. w.

Wenn wir sehen, daß ein Stückchen Papier, eine Flaumfeder u. s. w. langsamer zur Erde fällt als ein Stein, so ist die Ursache dieses Unterschiedes nur in dem Widerstande der Luft zu suchen; im luftleeren Raume fallen beide gleich schnell. Man kann dies mittelst der Luftpumpe auf folgende Weise zeigen.

Eine Glasröhre von ungefähr 1 Zoll Durchmesser und 6 Fuß Länge ist oben und unten mit einer Messingfassung luftdicht zugekittet, wie man Fig. 131 sieht. Die untere Fassung enthält einen Hahn und kann auf die Luftpumpe aufgeschraubt werden. In der Röhre befindet sich ein etwas großes Schrotkorn und eine Papierscheibe von ungefähr 4 Linien Durchmesser. Wenn nun die Röhre, nachdem sie luftleer gemacht worden ist, vertical gehalten und dann rasch umgekehrt wird, so fällt das Papierstück und das Bleikügelchen gleich schnell, was nicht der Fall ist, wenn sie noch Luft enthält.

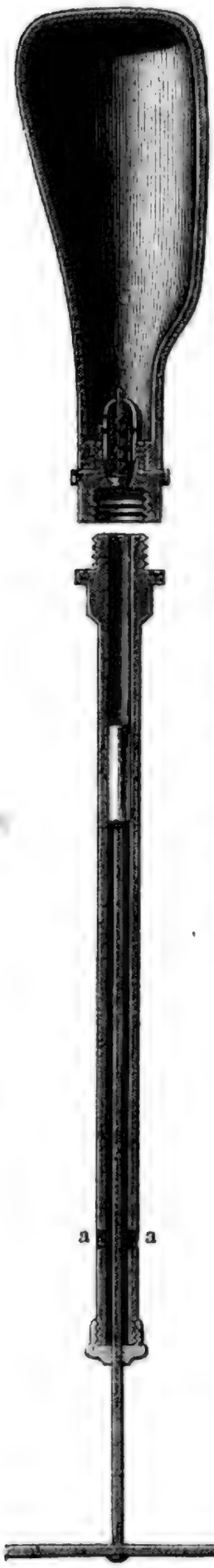
Compressionspumpe. Die Compressionspumpe dient **60** dazu, die Luft zu verdichten. Sie unterscheidet sich von der Luftpumpe wesentlich dadurch, daß sich die Ventile nach entgegengesetzter Richtung öffnen und schließen.

Eine Hahnenluftpumpe kann man auch zum Comprimiren der Luft anwenden, wenn man den Hahn am unteren Ende des Stiefels beim Aufziehen des Kolbens so stellt, daß die Communication mit der äußeren Luft besteht, daß also Luft von außen in den Stiefel eindringt; dann aber beim Niedergange des Kolbens den Hahn so dreht, daß Stiefel und der angeschraubte Recipient in Verbindung sind.

Eine der bekanntesten Formen der Compressionspumpe ist die,

welche man zum Laden der Windbüchse anwendet. Der Recipient der Windbüchse enthält an seinem unteren Ende ein Ventil, welches sich nach innen öffnet, welches also die Luft zwar ein- aber nicht austreten läßt. An diesen Recipienten wird ein Rohr angeschraubt, wie man in Fig. 132 sieht, in welchem ein Kolben luftdicht auf- und abgeschoben werden kann. Wenn sich der Kolben am unteren Ende des Laderohrs befindet, so kann Luft durch zwei seitliche Löcher *a* eintreten; diese Luft wird nun beim Hinauftreiben des Kolbens in das Reservoir hineingepreßt. Zieht man den Kolben wieder nieder, so kann die Luft aus dem Reservoir nicht zurücktreten, die Röhre füllt sich mit einer neuen Portion Luft, die nun durch einen abermaligen Stoß auch in das Reservoir gepreßt wird u. s. w. (Die in §. 21 des Supplementbandes zur Berechnung der Verdichtung an einer Compressionspumpe angegebene Formel ist nicht richtig.)

Fig. 132.



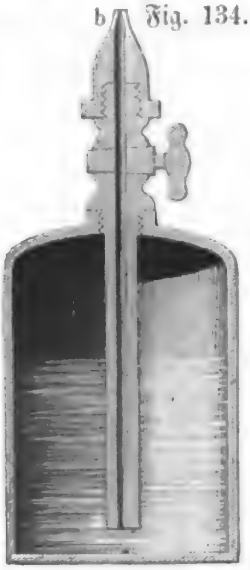
Wenn man mit Hülfe der Compressionspumpe die Luft im Recipienten der Windbüchse bis auf 8 oder 10 Atmosphären comprimirt hat, wird das Laderohr ab- und ein Lauf angeschraubt, welcher der Kugel die Richtung geben soll. Wenn das Ventil, welches den Recipienten verschließt, durch den Drücker geöffnet wird, so entweicht ein Theil der eingeschlossenen Luft mit großer Gewalt und treibt die Kugel fort; das Ventil schließt sich aber augenblicklich wieder. Mit einer guten Windbüchse kann man eine Kugel mit eben so großer Geschwindigkeit fortschießen, wie mit einem Feuergewehr. Man kann, ohne von Neuem zu laden, mehrere Schüsse nach einander thun, und zwar um so mehr, je größer der Recipient ist.

61 **Der Heronsball** ist ein Gefäß, aus welchem ein Wasserstrahl durch den Druck comprimirter Luft hervorgetrieben wird. Ein Heronsball einfachster Form ist die Spritzflasche der Chemiker, Fig. 133. Eine Glasröhre *acb*, welche bei *a* zu einer feinen Spitze ausgezogen ist, geht luftdicht durch den Kork, welcher den Hals eines Glasballons verschließt, und zwar geht sie fast bis auf den Boden des zum Theil mit Wasser gefüllten Gefäßes herab. Wenn nun durch ein zweites Rohr *df*, welches dicht unter dem Korke mündet, Luft eingeblasen wird, so wird dadurch die Luft im oberen Theil des Ballons comprimirt und durch ihren Druck ein Wasserstrahl aus der Oeffnung der Röhre *bca* hervorgetrieben.

Durch Blaſen mit dem Munde kann man natürlich keine ſtarke Compreſſion im Ballon bewirken und alſo nur einen ſchwachen Waſſerſtrahl hervortreiben. Wenn es ſich um die Erzeugung eines kräftigeren Waſſerſtrahls auf dieſem Wege handelt, muß man der größeren Feſtigkeit wegen Metallgefäße anwenden und die Zuſammendrückung der Luft durch eine Compreſſionspumpe beſorgen. Einen

Fig. 133.

Fig. 134.

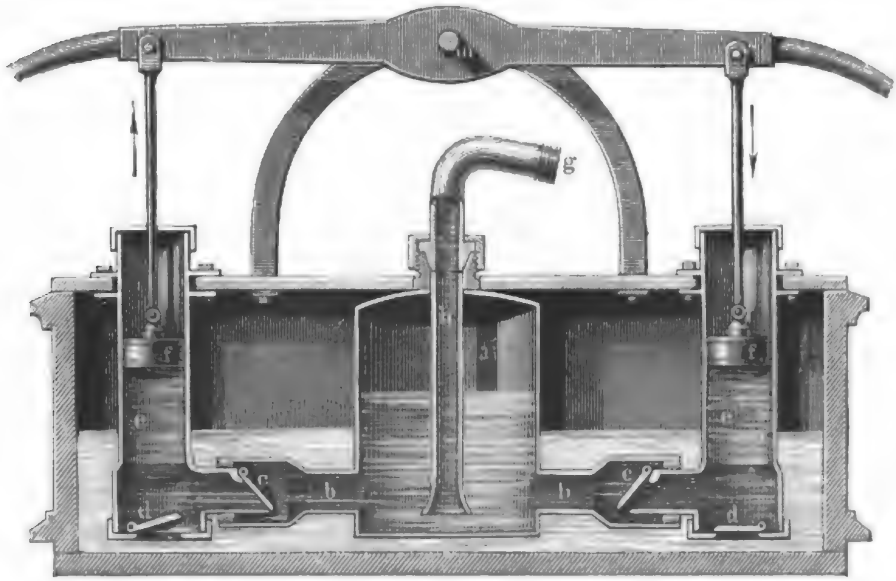


derartigen Heronsball ſtellt Fig. 134 dar. Nachdem das Gefäß etwas über die Hälfte mit Waſſer gefüllt und das Spritzrohr aufgeſchraubt iſt, wird die Ausflußſpitze entfernt und dann der Apparat auf eine Compreſſionspumpe aufgeſchraubt, mit Hülfe derer man ſo viel Luft einpumpt, daß der Druck derſelben 2 bis 4 Atmoſphären beträgt. Nun wird ein Hahn, welcher in dem Spritzrohre angebracht iſt, geſchloſſen, und nachdem der Apparat von der Compreſſionspumpe entfernt iſt, die Ausflußſpitze wieder auf das Spritzrohr aufgeſchraubt. Ein kräftiger Waſſerſtrahl entſteigt dem Spritzrohr, ſobald man den Hahn öffnet.

Die Feuerſpritze, Fig. 135 (a. f. S.) iſt eine Verbindung der 62
Druckpumpe mit dem Heronsball. Die Pumpenſtiefel, von denen wir vor der Hand nur den einen rechts betrachten wollen, ſtehen in einem mit Waſſer gefüllten Kaſten. Wenn der Kolben *f* aufgezogen wird, ſo hebt ſich die Klappe *d*, und das Waſſer dringt in den Stiefel. Beim Niedergange des Kolbens ſchließt ſich das Ventil *d*, die Klappe *c* wird geöffnet, und das Waſſer wird durch das Gurgelrohr *b* in den Windkeſſel *a* gepreßt. Dieſer Windkeſſel iſt nichts Anderes als ein großer Heronsball; je mehr Waſſer in den Windkeſſel gepumpt wird, deſto mehr wird die Luft im oberen Theile deſſelben comprimirt. Das Rohr *h* reicht faſt bis auf den Boden des Windkeſſels; bei *g* wird eine Röhre mit enger Oeffnung, der Schwanenhals, angeſchraubt. Durch den Druck, welchen die im Windkeſſel comprimirte Luft auf das Waſſer in demſelben fortwährend ausübt, wird ein ſtarker Waſſerſtrahl aus der Oeffnung des Schwanenhalſes hervorgetrieben. An einer Oeffnung, welche ſich in der Wand des Windkeſſels nahe am

Boden befindet, kann ein Schlauch mit einer metallenen Spitze angeſchraubt werden, welche eine Oeffnung wie der Schwanenhals hat; auch dieſer Schlauch lie-

Fig. 135.



fert einen Waſſerſtrahl, den man leichter lenken und der Feuerſtelle näher bringen kann als den Waſſerſtrahl des Schwanenhalſes.

Der Auf- und Niedergang der Kolben wird durch einen zweiarmigen Hebel bewerkſtelligt. An dieſem Hebel ſind die beiden Kolbenſtangen ſo befeſtigt, daß der eine Kolben ſteigt, wenn der andere niedergeht, daß alſo ohne Unterbrechung dem Windkeſſel neues Waſſer zugeführt wird.

In unſerer Figur iſt die Spritze in einem Momente dargeſtellt, in welchem der Kolben rechts niedergeht, während der Kolben auf der linken Seite ſteigt; auf der linken Seite wird alſo gerade Waſſer in den Stiefel eingeſaugt, während auf der rechten Seite eben Waſſer in den Windkeſſel eingepreßt wird.

Es iſt nicht gerade nothwendig, daß eine Feuerſpritze zwei Cylinder habe, und in der That werden kleinere Feuerſpritzen nur mit einem Cylinder conſtruirt; in dieſem Falle iſt freilich der Waſſerzugang in den Keſſel alternirend, deſſenungeachtet aber wird aus dem Rohre des Windkeſſels ein continuirlicher Waſſerſtrahl hinausgetrieben, weil die comprimirte Luft auch noch wirkt, während der Kolben aufgezogen wird. Es finden dabei allerdings Schwankungen in der Kraft Statt, mit welcher der Waſſerſtrahl hervordringt, denn dieſe nimmt allmälig ab, während der Kolben aufgezogen wird, und ſie wächſt dann wieder, während der Kolben niedergedrückt, alſo eine neue Quantität Waſſer in den Windkeſſel hineingepreßt wird. Doch ſind dieſe Schwankungen um ſo kleiner, je größer der Inhalt des Windkeſſels im Vergleich zu dem des Cylinders iſt.

63 **Der Heronsbrunnen** iſt ein Heronsball, in welchem die Luft durch den Druck einer Waſſerſäule comprimirt wird. Gewöhnlich werden die Herons-

Digitized by Google

brunnen aus Blech verfertigt; gläserne haben aber den Vorzug, daß sich an ihnen die Einrichtung des Apparates besser übersehen läßt. Fig. 136 stellt einen gläsernen Heronsball dar, wie er sich mit Hülfe der Glasbläserlampe ausführen läßt. Die Wassersäule in der Röhre *a* comprimirt die Luft in *b*, die zusammengepreßte Luft drückt auf den Spiegel des Wassers in der oberen Kugel, und in Folge dessen muß das Wasser bei *d* herausspringen. Nach demselben Princip ist auch der Heronsbrunnen, Fig. 137, aus Glasröhren, Glaskolben oder Flaschen und einem Trichter zusammengesetzt. Wenn man den Apparat in Gang setzen will, füllt man das Gefäß *d* fast ganz mit Wasser und verschließt darauf den Hals mit dem Korke, durch welchen die Röhren *b* und *h* hindurchgehen; dann gießt man Wasser durch den Trichter *f* ein, und alsbald beginnt das Springen des Wassers aus der Röhre *h*.

Fig. 136.

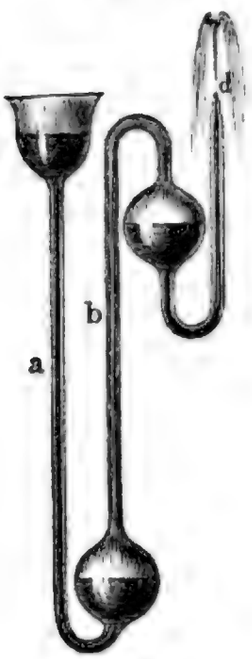


Fig. 137.

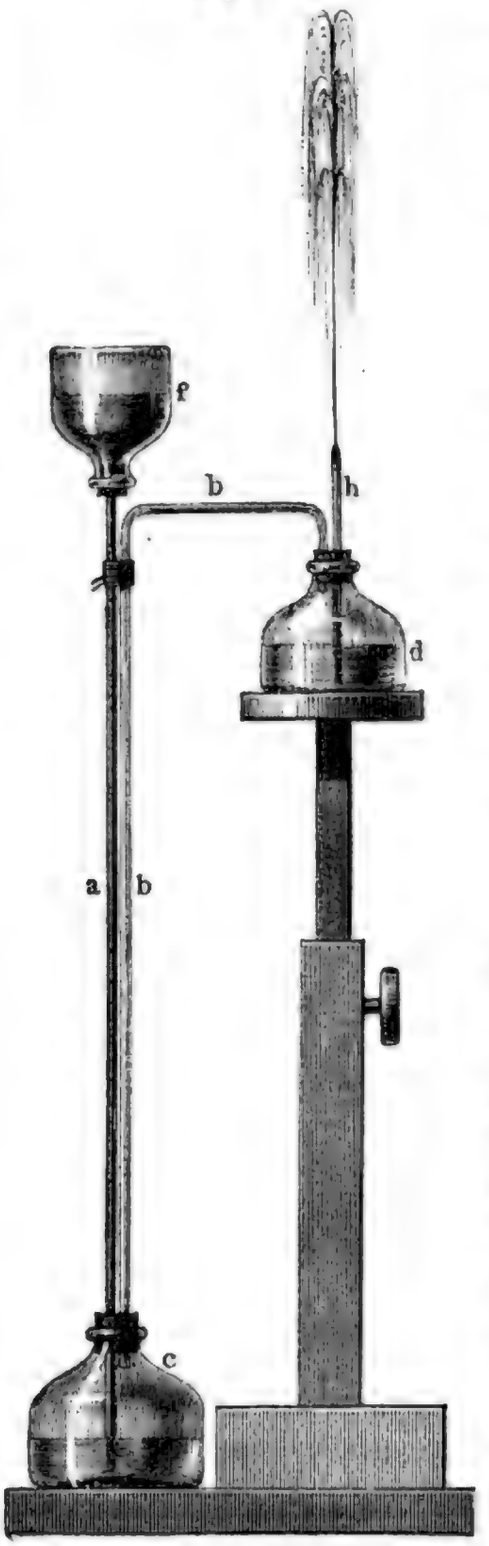
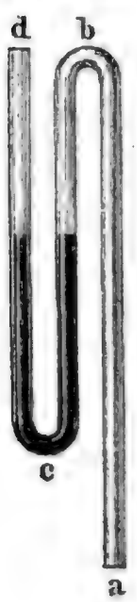


Fig. 138.



Messung des Drucks eingeschlossener Gase. Solche Apparate, welche dazu dienen, den Druck zu messen, welchen in irgend einem abgesperrten Raume befindliche Gase auszuhalten haben, werden mit dem gemeinschaftlichen Namen der Manometer bezeichnet. Die Barometerprobe der Luftpumpen gehört also auch zu den Manometern. 64

In Fällen, wo der zu messende Druck noch sehr gering ist, wendet man für

den fraglichen Zweck Flüssigkeitssäulen an, welche in doppelt gebogenen Glasröhren, Fig. 138 (a. v. S.), enthalten sind. Das eine Ende *a* des Manometerrohres wird mittelst eines Korkes in einer entsprechenden Oeffnung des Gasbehälters eingesetzt oder mittelst einer Messingfassung auf dieselbe aufgeschraubt. Ist nun der Druck des Gases auf den Gipfel der Flüssigkeitssäule im mittleren Schenkel *bc* größer als der Druck der Atmosphäre auf den Gipfel der Flüssigkeitssäule im äußeren Schenkel *cd*, so wird sich natürlich die Flüssigkeit im äußeren Schenkel *cd* höher stellen müssen als im inneren, und aus der Höhendifferenz der beiden unten communicirenden Flüssigkeitssäulen kann man auf die Größe des Drucks schließen, unter welchem das eingeschlossene Gas steht.

Bei schwächerem Druck dient Wasser als Sperrungsflüssigkeit, welches durch Quecksilber ersetzt wird, wenn der Druck stärker wird.

Zu diesen Manometern gehören auch die sogenannten Sicherheitsröhren. Wenn die Spannung der Gase in einer mit einer solchen Sicherheitsröhre versehenen Retorte dem Druck der Atmosphäre gleich ist, so steht die Flüssigkeit in den beiden Schenkeln, Fig. 139, gleich hoch; ist dies nicht der Fall, so kann man aus der Differenz der Flüssigkeitssäulen in den beiden Schenkeln den Druck im Inneren des abgesperrten Raumes bestimmen, wenn man die Dichtigkeit der Flüssigkeit in der Sicherheitsröhre kennt. Die Sicherheitsröhren sind von Welter erfunden worden; sie gewähren bei vielen chemischen Operationen außerordentliche Vortheile, indem sie sowohl Explosionen, als auch das Zurücksteigen der Sperrungsflüssigkeit verhindern.

Fig. 139.

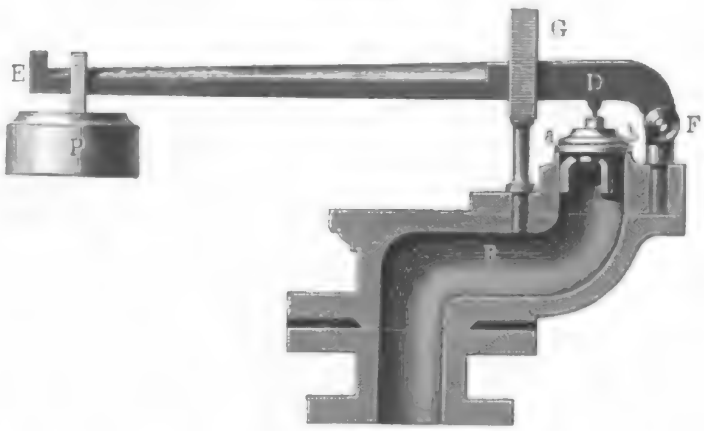
Wenn der Druck des eingeschlossenen Gases oder Dampfes auf 2, 3, 4 u. s. w. Atmosphären steigt, so reichen solche offene Manometer, wie wir sie bisher betrachtet haben, nicht mehr aus; in solchen Fällen kann man aber Compressionsmanometer anwenden, deren Wesen darin besteht, daß durch den zu messenden Druck das als Sperrungsflüssigkeit dienende Quecksilber nicht in eine oben offene, sondern in eine oben verschlossene, mit Luft gefüllte Röhre hineingetrieben wird, so daß der Druck vorzugsweise durch die Compression der im Manometerrohre abgesperrten Luft gemessen wird. Fig. 140 zeigt einen solchen Apparat, wie er auf Dampfkesseln oder Dampfleitungen aufgeschraubt werden kann. Durch den Canal *a* verbreitet sich der Dampfdruck in den von allen Seiten luftdicht verschlossenen Raum *b*. In demselben steht, auf dem Boden befestigt, ein eisernes zum Theil mit Quecksilber gefülltes Gefäß und in dieses taucht eine mit Luft gefüllte Glasröhre ein. Der Druck des Dampfes treibt das Quecksilber in das Rohr, wodurch die eingeschlossene Luft comprimirt wird. Wenn das Quecksilber bei den mit 2, 4, 8, 16 bezeichneten Punkten steht, so beträgt der Dampfdruck 2, 4, 8, 16 Atmosphären.

Zu den Manometern kann man auch das Sicherheitsventil zählen, welches dazu dient, zu verhindern, daß die Spannkraft des Dampfes über gewisse Gränzen hinaus wachse. Das Rohr *R* (Fig. 141) steht mit dem Dampfraume des Kessels in Verbindung, so daß es sich gleichfalls mit Dampf füllt, welcher

durch ſeine obere Oeffnung entweichen würde, wenn dieſelbe nicht durch ein Ventil verſchloſſen wäre. Dieſes Ventil beſteht aus einer Metallplatte $a\,b$, welche

Fig. 140.

Fig. 141.



auf den Rändern der oberen Oeffnung des Rohres R einfach aufliegt. An der unteren Fläche der Platte $a\,b$ iſt ein dreizinkiger Anſatz befeſtigt, welcher genau in das Rohr R paſſend eine ſeitliche Verſchiebung der Platte $a\,b$ verhindert. Während nun der Dampf, gegen die untere Fläche des Ventils drückend, den Hebel $E\,F$ zu heben ſtrebt, wird derſelbe durch das Gewicht P niedergedrückt. Eine Hebung des Ventils und ein Abblaſen des Dampfes kann alſo erſt erfolgen, wenn der Druck des Dampfes gegen das Ventil größer iſt als die Belaſtung, welche es zu tragen hat.

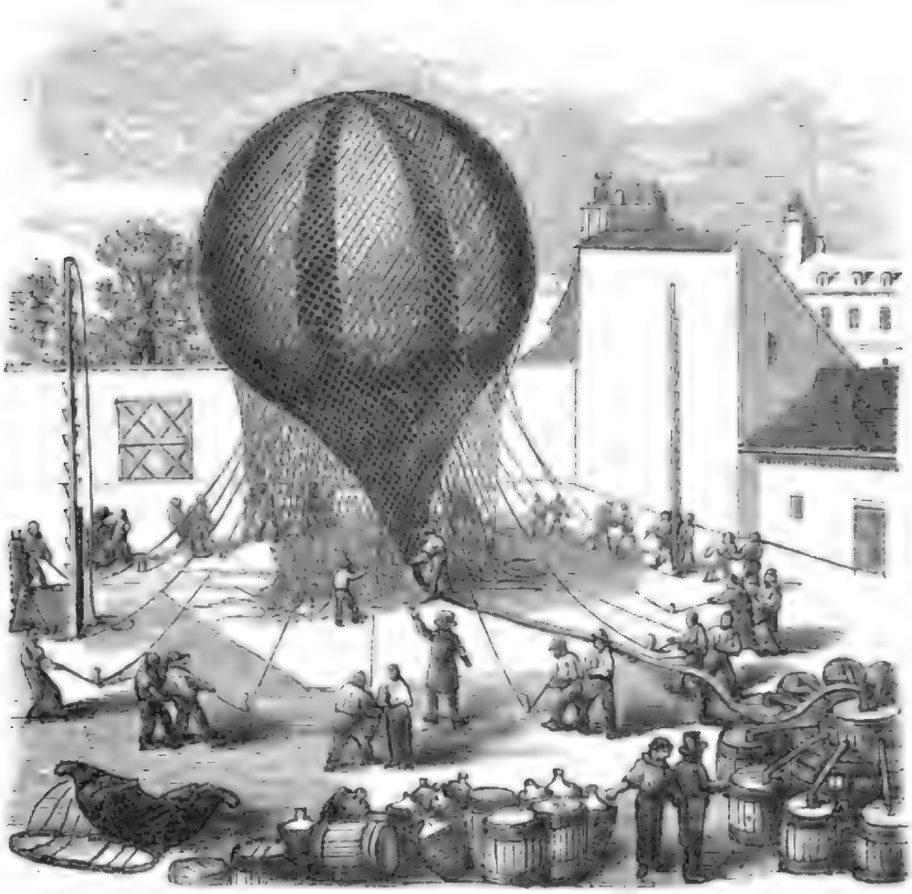
Der Luftballon. Das archimediſche Princip 65
(S. 70) gilt für Gaſe wie für Flüſſigkeiten; jeder Körper, welcher in Luft eingetaucht iſt, verliert von ſeinem Gewichte ſo viel, wie die verdrängte Luftmaſſe wiegt; wenn alſo ein Körper leichter iſt als ein gleiches Volumen Luft, ſo muß er in der Luft ſteigen. Einen ſolchen Körper kann man herſtellen, wenn man aus einer leichten Hülle einen Ballon macht und dieſen mit einem Gaſe füllt, welches leichter iſt als atmoſphäriſche Luft. Kleine Ballons der Art werden aus Goldſchlägerhaut oder Collodium gefertigt, und mit Waſſerſtoffgas, welches 14mal leichter iſt als atmoſphäriſche Luft, oder mit Leuchtgas gefüllt. Ein ſo gefüllter Ballon ſteigt, wenn das eingeſchloſſene Gas ſammt der Hülle und Allem, was daran hängt, weniger wiegt als ein gleiches Volumen atmoſphäriſcher Luft.

Der Erfinder der Luftballons iſt Montgolfier, welcher ſie gleich in großem Maßſtabe ausführte. Unten offen, wurde ſein Ballon mit warmer Luft aufgeblaſen, indem unterhalb der Oeffnung auf einem paſſenden Drahtnetz Papier oder befeuchtetes Stroh verbrannt wurde.

Charles wandte zuerſt Waſſerſtoffgas ſtatt der warmen Luft zur Füllung

der Luftballons an. Fig. 142 erläutert die Füllung eines großen Luftballons mittelſt Waſſerſtoffgas.

Fig. 142.



In neuerer Zeit wird an Orten, wo Gasbeleuchtung eingeführt iſt, auch das Leuchtgas zur Füllung von Luftballons angewandt; da jedoch dieſes Gas weit ſchwerer iſt als Waſſerſtoffgas (ſein ſpecifiſches Gewicht iſt mehr als $^1/_2$ von dem der atmoſphäriſchen Luft), ſo muß man größere Ballons anwenden, als es beim Waſſerſtoffgas nöthig iſt.

Seifenblaſen, mit Waſſerſtoffgas oder Leuchtgas gefüllt, ſteigen gleichfalls.

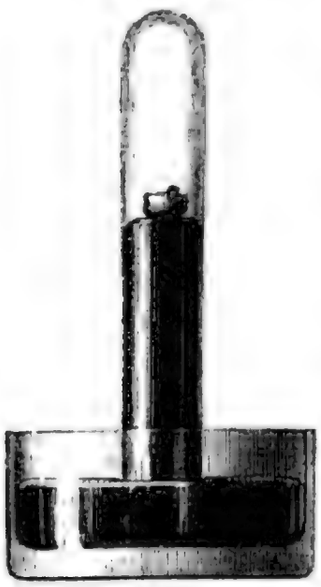
Die Geltung des archimediſchen Princips für Luft wird auch ſehr gut durch den Apparat erläutert, welcher in Fig. 126 unter der Glocke der Luftpumpe ſteht und welcher den Namen des Baroſkops führt. An einem Wagebalken iſt eine kleine Metallkugel mit einer hohlen Glaskugel ins Gleichgewicht gebracht; ſobald die Glocke evacuirt wird, hört das Gleichgewicht, welches bis dahin beſtand, auf, die Glaskugel ſinkt, die kleine Meſſingkugel ſteigt. Die Erklärung dieſes Herganges hat wohl keine Schwierigkeit.

Sechstes Capitel.

Anziehung zwischen gasförmigen und festen, sowie zwischen gasförmigen und flüssigen Körpern.

Absorption der Gase durch feste Körper. Daß zwischen den 66
Theilchen fester und gasförmiger Körper eine bedeutende Anziehung stattfindet, geht am augenscheinlichsten aus folgendem Versuche hervor. Löscht man eine glühende Kohle unter Quecksilber ab, läßt man sie dann in einem Cylinder in die Höhe steigen, dessen oberer Theil mit Kohlensäure gefüllt ist, welche durch Quecksilber von der Verbindung mit der äußeren Luft abgesperrt wird, so wird in wenigen Augenblicken die Kohlensäure von der Kohle dermaßen verdichtet, daß das Quecksilber im Cylinder bis oben hinsteigt, vorausgesetzt, daß das Volumen des Gases nicht mehr als das 20fache Volumen der Kohle betrug. Die ganze Masse der Kohlensäure, welche vorher den oberen Theil des Cylinders erfüllte, ist jetzt durch die zwischen der Kohle und dem Gase stattfindende Anziehung in den Poren der Kohle verdichtet, das Gas ist *absorbirt* worden. Derselbe Versuch gelingt auch mit vielen anderen Gasen.

Fig. 143.



Wenn die Kohle längere Zeit an der Luft gelegen hat, so gelingt der Versuch weniger gut, was sehr begreiflich ist, wenn man bedenkt, daß die Kohle atmosphärische Luft und den in der Luft verbreiteten Wasserdampf absorbirt, und daß dadurch natürlich ihre Absorptionsfähigkeit für andere Gase vermindert wird.

Wenn man eine Kohle, welche Gase absorbirt hat, unter die Luftpumpe bringt oder glüht, so entweichen die absorbirten Gase wieder.

Die Absorption der Gase ist jederzeit mit einer Wärmeentwickelung begleitet, die um so bedeutender ist, je rascher die Absorption vor sich geht. Bei der

Fabrikation des Schießpulvers wird Holzkohle zu einem sehr feinen Pulver zerrieben, welches die atmosphärische Luft mit solcher Begierde absorbirt, daß eine bedeutende, oft bis zur Entzündung steigende Erhitzung der Masse stattfindet.

Wenn ein feiner Strom von Wasserstoffgas auf einen Platinschwamm (fein vertheiltes Platin) geleitet wird, so erfolgt die Absorption des Gases mit solcher Heftigkeit, daß das Platin glühend wird und alsdann das Wasserstoffgas entzündet. Darauf gründet sich die Döbereiner'sche Zündmaschine.

Dadurch, daß sich der feste Körper in einem fein vertheilten Zustande befindet, wie dies beim Kohlenpulver und dem Platinschwamm der Fall ist, wird die Absorption bedeutend befördert, weil alsdann viele Berührungspunkte zwischen dem festen Körper und dem Gase vorhanden sind; doch ist dieser fein vertheilte poröse Zustand nicht durchaus nothwendig, um die Verdichtung der Gase zu bewirken, sie findet auch Statt, wenn der feste Körper eine vollkommen glatte Oberfläche hat, nur ist in diesem Falle die Verdichtung nicht so bedeutend. Wenn man ein Stück Platin mit vollkommen metallischer Oberfläche in ein Gemenge von Sauerstoffgas und Wasserstoffgas bringt, so werden die beiden Gase so sehr verdichtet, daß sie sich allmälig zu Wasser verbinden.

Nicht Platin und Kohle allein zeigen dieses merkwürdige Verhalten gegen Gase, sondern mehr oder weniger alle festen Körper. Jeder feste Körper ist daher gleichsam mit einer verdichteten Atmosphäre von irgend einem Gase umgeben, welche sich oft nur sehr schwer von ihm trennen läßt, und mit welcher sich der Körper, wenn man seine Oberfläche davon auch vollkommen befreit, nach einiger Zeit doch wieder umgiebt, wenn er in Berührung mit Gasen bleibt. So ist z. B. das Glas stets mit einer Hülle von verdichteter Luft umgeben, die man bei der Anfertigung von Barometern erst durch das Kochen des Queckſilbers in der Röhre entfernen kann. Gießt man Wasser in einen Glaskolben und bringt dann denselben über Feuer, so sieht man bald, wie sich an dem Boden eine Menge kleiner Bläschen bilden, noch lange ehe das Kochen des Wassers beginnt. Es ist dies die vorher wegen ihrer großen Verdichtung gar nicht wahrgenommene Luftschicht, die nun, durch die Wärme ausgedehnt, Bläschen bildet. Aehnliche Bläschen sieht man auch, wenn man ein Gefäß mit Wasser unter den Recipienten der Luftpumpe bringt und dann auspumpt.

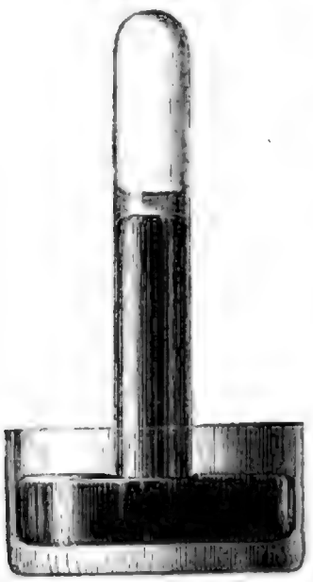
Solche gasförmige Körper, welche leicht in den flüssigen Zustand übergehen (Dämpfe), werden durch die Anziehung, welche feste Körper auf sie ausüben, flüssig gemacht. So zieht z. B. Chlorcalcium den Wasserdampf mit großer Begierde an, verdichtet ihn zu Wasser und zerfließt endlich in dem Wasser. Auch das Kochsalz zieht den Wasserdampf aus der Luft an und wird feucht; ebenso verhalten sich die Pottasche und viele andere Körper.

Solche Körper, welche den Wasserdampf aus der Luft anziehen, heißen hygroskopische Körper. Außer den schon angeführten sind auch Holz, Haare, Fischbein u. s. w. hygroskopisch.

67a **Absorption der Gase durch Flüssigkeiten.** Flüssigkeiten zeigen gegen Gase ein ganz ähnliches Verhalten wie das, welches wir soeben bei

den festen Körpern betrachtet haben. Man kann dies recht anschaulich machen, wenn man den auf voriger Seite angeführten Versuch in der Weise abändert, daß man die Kohlensäure durch Ammoniakgas ersetzt und statt der Kohle Wasser in die Röhre bringt, wie Fig. 144 angedeutet ist. Das Ammoniakgas wird von dem Wasser mit solcher Begierde absorbirt, daß alsbald alles Gas verschwindet und die ganze Röhre sich mit Flüssigkeit füllt.

Fig. 144.



Das Wasser absorbirt ein 700faches Volumen Ammoniakgas und ein 500faches Volumen Salzsäuregas.

Das Absorptionsvermögen der Flüssigkeiten hängt von der Temperatur und dem Drucke ab, und zwar ist es dem Drucke proportional, so daß unter einem Drucke von 2, 3 u. s. w. Atmosphären zweimal, dreimal so viel von einem bestimmten Gase absorbirt wird, als unter dem gewöhnlichen Luftdruck.

Mit steigender Temperatur nimmt das Absorptionsvermögen ab.

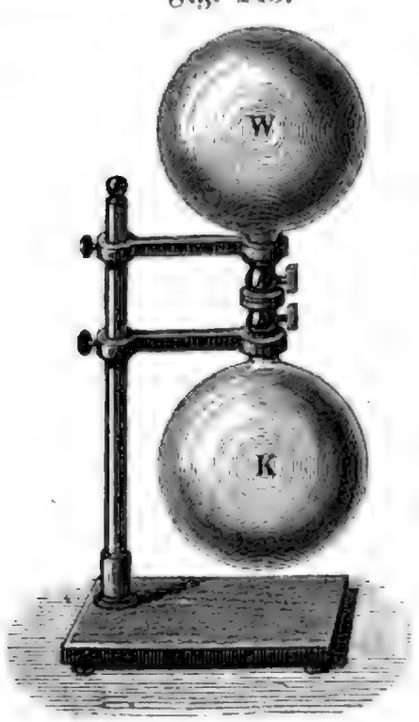
Das Wasser enthält fast immer eine ziemlich bedeutende Menge absorbirter Luft und kann davon nur durch längeres Kochen befreit werden.

Nach den genauesten Versuchen absorbirt 1 Volumen Wasser bei 0^0 und 760 Millimeter Queckſilberdruck:

0,018 Volumen atmosphärische Luft,
0,015 „ Stickstoff,
0,032 „ Sauerstoff,
0,859 „ Kohlensäure.

Schaumwein und Sauerwasser sind Flüssigkeiten, welche unter höherem Druck Kohlensäure absorbirt haben, die zum Theil entweicht, wenn der Druck nachläßt.

Fig. 145.



Diffusion der Gase. Eine ähnliche 67b
Erscheinung, wie wir sie in §. 50 für tropfbar flüssige Körper kennen gelernt haben, findet auch zwischen verschiedenen Gasen statt, und zwar tritt die Erscheinung der Diffusion für alle Gase ein, während nicht alle Flüssigkeiten in einander diffundiren.

Werden zwei Glasballons, deren Hals durch Hähne verschließbar ist und von denen der eine mit Wasserstoffgas, der andere mit Kohlensäure gefüllt ist, so zusammengeschraubt, wie Fig. 145 zeigt und dann so aufgestellt, daß der Ballon mit der Kohlensäure der untere ist, so findet man nach einiger Zeit,

wenn durch Oeffnen der beiden Hähne die beiden Ballons in Communication geſetzt worden ſind, daß ſich die Kohlenſäure ſowohl wie das Waſſerſtoffgas in beiden Ballons gleichförmig vertheilt haben, daß alſo trotz des größeren ſpecifiſchen Gewichtes ein Theil der Kohlenſäure in den oberen Ballon geſtiegen und eine gleiche Menge Waſſerſtoffgas in den unteren herabgeſunken iſt.

Die bis auf unbedeutende Schwankungen im Kohlenſäuregehalt überall ganz gleiche Zuſammenſetzung der atmoſphäriſchen Luft iſt eine Folge der **Diffuſion der Gaſe.**

Siebentes Capitel.

Bewegung feſter Körper unter dem Einfluß beſchleunigender Kräfte.

Ruhe und Bewegung. Ein Körper, welcher ſeine Stellung gegen 68
andere ändert, iſt in Bewegung; er iſt in Ruhe, wenn keine ſolche Veränderung mit ihm vorgeht. Alle Ruhe, alle Bewegung, welche wir beobachten, iſt nur relativ, nicht abſolut. Die Bäume ſind in Ruhe in Beziehung auf die benachbarten Berge; die Berge haben eine unveränderliche Stellung auf dem Erdboden; aber Bäume und Berge ſind deshalb nicht in abſoluter Ruhe; ſie durchlaufen mit dem ganzen Erdball, auf welchem ſie feſt ſtehen, die ungeheure Bahn unſeres Planeten. Obgleich wir aber wiſſen, daß wir mit unſerer Erde die Himmelsräume durchfliegen, indem ſie ſich um die Sonne bewegt, ſo können wir doch über unſere abſolute Bewegung nichts ſagen; denn wir müßten wiſſen, ob die Sonne wirklich ein unbewegliches Centrum der Welt iſt. Alles aber ſcheint anzudeuten, daß die Sonne ſelbſt eine fortſchreitende Bewegung unter den Fixſternen hat.

Wir haben bei der Bewegung zwei weſentliche Dinge zu betrachten, die Richtung und die Geſchwindigkeit.

Wenn ein Körper ſich ſtets nach derſelben Richtung bewegt, ſo iſt ſeine Bahn geradlinig; wenn ſich aber die Richtung ſeiner Bewegung ſtetig ändert, ſo iſt ſeine Bewegung krummlinig. Wenn man ſich in dem Punkte der krummen Linie, welchen der Körper in einem beſtimmten Momente einnimmt, eine Tangente an die Curve gezogen denkt, ſo zeigt uns dieſe Tangente die Richtung, welche in dieſem Augenblicke die Bewegung des Körpers hat.

Gleichförmige Bewegung. Ein Körper hat eine gleichförmige 69
Bewegung, wenn er in gleichen Zeiten gleiche Räume zurücklegt. Wenn ein Körper, der ſich in gerader Linie bewegt, in jeder Minute gleich viel, etwa 60 Fuß, fortſchreitet, in jeder halben Minute 30, in jeder Secunde 1 Fuß, ſo bewegt er

sich gleichförmig. Weil hier die in gleichen Zeiten durchlaufenen Räume gleich sind, so folgt, daß das Verhältniß zwischen Zeit und Raum constant bleibt. Dieses Verhältniß nennt man die Geschwindigkeit der gleichförmigen Bewegung. Die Zahl, welche die Geschwindigkeit ausdrückt, hängt davon ab, welche Einheiten man für Raum und Zeit wählt. Wollte man die Geschwindigkeiten nur durch eine Zahl ausdrücken, ohne anzugeben, welcher Einheiten man sich bedient, so würde die Geschwindigkeit noch durchaus unbestimmt sein. Am einfachsten drückt man die Geschwindigkeit dadurch aus, daß man angiebt, wie weit sich der Körper in der Zeiteinheit, etwa in einer Minute, einer Secunde, bewegt. So geht z. B. ein erwachsener Mensch in der Regel mit einer Geschwindigkeit von 2,5 Fuß in der Secunde. Ein gewöhnlicher Wind hat eine Geschwindigkeit von 60 Meter in der Minute, der Sturmwind aber 2700 Meter in der Minute. Die beiden letzten Geschwindigkeiten sind unter sich vergleichbar, weil sie in denselben Einheiten ausgedrückt sind; die Geschwindigkeit des Sturmwindes ist 45mal so groß als die des gewöhnlichen Windes. Wollte man die oben angegebene Geschwindigkeit des Menschen mit der des Sturmwindes vergleichen, so müßte man sie erst auf gleiche Einheit reduciren.

Weil die Materie träge ist, muß sich ein Körper, welcher einmal eine gleichförmige Bewegung hat, fortwährend nach derselben Richtung und mit derselben Geschwindigkeit bewegen, es müßte denn ferner noch eine Kraft auf ihn wirken, welche entweder seine Richtung allein, oder seine Geschwindigkeit allein, oder beide zugleich ändert; denn durch sich selbst kann ein Körper in dieser Hinsicht nichts verändern, weder den Zustand der Ruhe noch den der Bewegung. Auf diese Weise ist das Gesetz der Trägheit zu verstehen, und nicht wie es sich die alten Philosophen dachten, welche meinten, daß die Materie eine vorherrschende Neigung zur Ruhe habe.

Wenn wir sehen, daß die Bewegung eines Körpers irgendwie verändert wird, daß seine Geschwindigkeit ab- oder zunimmt, daß die Bewegung ganz aufhört oder daß sie ihre Richtung ändert, so ist diese Veränderung jederzeit durch eine äußere Ursache veranlaßt. Ein Stein, den wir nach der Sonne werfen, müßte bis zur Sonne fortfliegen, wenn er nicht durch den Widerstand der Luft und durch die Schwere, welche ihn nach der Erde zurückzieht, daran gehindert würde.

70 **Beschleunigte und verzögerte Bewegung.** Die stetige Veränderung der Geschwindigkeit kann nur durch eine fortwährend wirkende Kraft hervorgebracht werden; eine solche Kraft aber nennt man eine beschleunigende oder eine verzögernde, je nachdem durch sie die Bewegung beschleunigt oder verzögert wird. Wenn in irgend einem Momente der veränderlichen Bewegung alle beschleunigenden oder verzögernden Kräfte zu wirken aufhörten, so würde von dem Augenblick an die Bewegung eine gleichförmige sein; die Geschwindigkeit einer veränderlichen Bewegung in einem gegebenen Augenblicke bestimmt man dadurch, daß man ausmittelt, wie weit sich der Körper in der Zeiteinheit

bewegen würde, wenn von dem fraglichen Momente an alle Beschleunigung und Verzögerung aufhörte.

Eine Bewegung heißt gleichförmig beschleunigt oder gleichförmig verzögert, wenn die Geschwindigkeit in gleichen Zeiten gleichviel zu- oder abnimmt. Solche Bewegungen werden durch Kräfte hervorgebracht, welche fortwährend gleich stark wirken, wie dies bei der Schwere der Fall ist. Ein schwerer Körper fällt mit gleichförmig beschleunigter Geschwindigkeit.

Die Gesetze des freien Falles lassen sich durch sehr einfache Betrachtungen entwickeln.

Da die Schwere in jedem Momente des Falles auf dieselbe Weise wirkt, so muß sie die Geschwindigkeit des fallenden Körpers in gleichen Zeiten auch gleichviel vermehren, d. h. die Bewegung muß eine gleichförmig beschleunigte sein. Wenn der fallende Körper während der ersten Fallsecunde eine Geschwindigkeit g erlangt, so muß er also auch nach 2, 3, 4 ... t Secunden eine Geschwindigkeit $2g$, $3g$, $4g$ ... tg erlangt haben. Es läßt sich dies in Worten allgemein so ausdrücken: die Geschwindigkeit eines frei fallenden Körpers ist stets der verflossenen Fallzeit proportional; oder es ist

$$v = g \,.\, t, \quad \ldots \ldots \ldots \quad 1)$$

wenn v die Geschwindigkeit bezeichnet, welche der Körper während einer Fallzeit von t Secunden erlangt hat, g aber seine Geschwindigkeit am Ende der ersten Secunde darstellt.

Welchen Raum wird demnach ein Körper in einer, in 2, 3, 4 ... t Secunden durchlaufen? Zu Anfang der ersten Secunde ist seine Geschwindigkeit gleich 0, zu Ende derselben ist sie g. Da nun die Geschwindigkeit gleichförmig zunimmt, so muß der in der ersten Secunde durchfallene Raum offenbar gerade eben so groß sein, als ob sich der Körper während dieser Secunde mit einer gleichförmigen Geschwindigkeit bewegt hätte, welche zwischen der Anfangs- und Endgeschwindigkeit, also zwischen 0 und g in der Mitte liegt. Diese mittlere Geschwindigkeit aber ist $\frac{1}{2}g$, und ein Körper, der sich eine Secunde lang mit der Geschwindigkeit $\frac{1}{2}g$ bewegt, durchläuft den Raum $\frac{1}{2}g$.

Ebenso können wir den Fallraum finden, welchen der Körper in zwei Secunden durchfällt. Die Anfangsgeschwindigkeit ist 0, die Endgeschwindigkeit $2g$, also ist die mittlere Geschwindigkeit $\frac{2g}{2}$, und ein Körper, welcher sich zwei Secunden lang mit dieser Geschwindigkeit bewegt, durchläuft einen Raum $2 \,.\, 2\frac{g}{2}$

In drei Secunden durchfällt der Körper einen Raum $3 \,.\, 3\,\frac{g}{2}$, denn die Anfangsgeschwindigkeit ist 0, die Endgeschwindigkeit $3g$, also die mittlere Geschwindigkeit $3\,\frac{g}{2}$, und mit dieser Geschwindigkeit muß ein Körper sich drei

Secunden lang gleichförmig bewegen, wenn er denselben Weg zurücklegen soll, den ein schwerer Körper in drei Secunden durchfällt.

Wir wollen diesen Schluß allgemein machen. Wenn ein Körper t Secunden lang fällt, so muß er einen Weg zurücklegen, welcher demjenigen gleich ist, den er während derselben Zeit bei gleichförmiger Bewegung zurückgelegt hätte, wenn seine Geschwindigkeit das Mittel zwischen der Anfangsgeschwindigkeit 0 und der Endgeschwindigkeit $g.t$, also $\frac{g}{2}t$ gewesen wäre. Ein Körper aber, welcher sich t Secunden lang mit der Geschwindigkeit $\frac{g}{2}t$ bewegt, durchläuft einen Raum

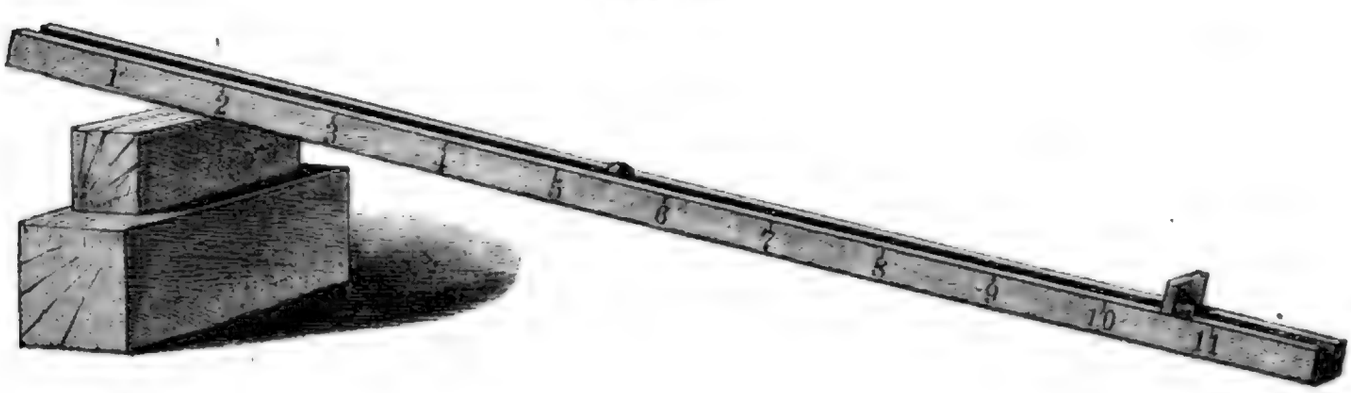
$$s = \frac{g}{2} \cdot t^2 \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 2)$$

das heißt in Worten: **die Fallräume verhalten sich wie die Quadrate der Fallzeiten.**

71 **Versuche über das Fallgesetz.** Für den freien Fall ist $g = 30$ Fuß, also sind die in wenig Secunden durchfallenen Räume viel zu groß, als daß man ihn zur Bestätigung des Fallgesetzes gebrauchen könnte, und zwar ist dies um so weniger möglich, als eben der großen Geschwindigkeit wegen der Widerstand der Luft bedeutende Störungen veranlaßt.

Galiläi studirte zuerst die Fallgesetze, indem er Kugeln auf einer schiefen Ebene herunterrollen ließ. Zur Anstellung der Galiläi'schen Fallversuche bedient man sich am besten einer etwa 10 bis 12 Fuß langen Fallrinne von Holz, Fig. 146, welche im Inneren möglichst glatt polirt sein muß, und welche

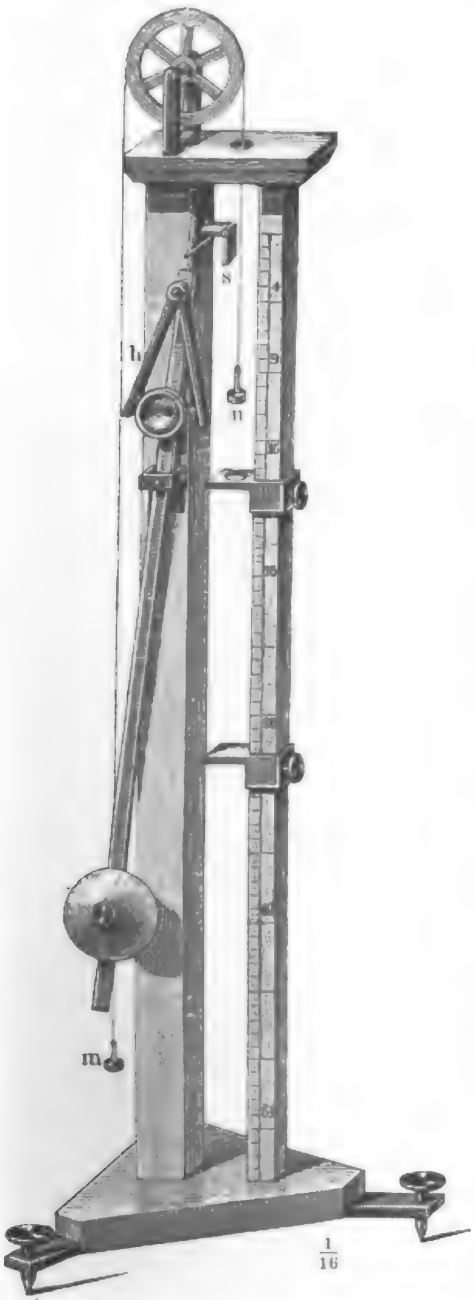
Fig. 146.



in Fuß und Zoll eingetheilt ist. Ist g die **beschleunigende Kraft der Schwere**, d. h. ist g die Geschwindigkeit, welche ein frei fallender Körper am Ende der ersten Secunde erlangt hat, so ist nach §. 22 $g.\sin x$ die beschleunigende Kraft, welche die Kugel in der Fallrinne herunter treibt, wenn x den Winkel bezeichnet, welchen sie mit der Horizontalen macht; durch Verkleinerung des Winkels x hat man es also in der Gewalt, den Fall auf der schiefen Ebene

ſo langſam zu machen, als man will. Iſt die Fallrinne ſo geſtellt, daß $g \cdot \sin x = 2'$, daß alſo der Fallraum der erſten Secunde 1 Fuß iſt, ſo wird man finden, daß die Kugel in 2, 3 u. ſ. w. Secunden einen Weg von 4, 9 u. ſ. w. Fuß in der Fallrinne durchläuft, daß ſich alſo die Fallräume wirklich wie die Quadrate der Fallzeiten verhalten.

Fig. 147.



Beim freien Fall ſind demnach (der Luftwiderſtand abgerechnet) folgende die zuſammengehörigen Werthe von t, v und s:

t	v	s
1. Secunde	30 Fuß	15 Fuß
2. „	60 „	60 „
3. „	90 „	135 „
4. „	120 „	240 „
5. „	150 „	375 „

72 **Die Atwood'ſche Fallmaſchine.** Weit genauere Reſultate als mit der Fallrinne erhält man mit der Atwood'ſchen Fallmaſchine. Sie beſteht im Weſentlichen in einer um eine horizontale Axe leicht drehbaren Rolle, Fig. 147, welche auf dem Gipfel einer ungefähr 6 pariſer Fuß hohen verticalen Säule befeſtigt iſt. Ueber die Rolle iſt eine Schnur geſchlungen, an deren Enden gleiche Gewichte m und n hängen. Legt man auf der einen Seite ein Uebergewicht r auf, ſo wird das Gleichgewicht zerſtört; die Gewichte $n + r$ auf der einen Seite fallen, das Gewicht m auf der anderen Seite wird gehoben. Die Geſchwindigkeit, mit welcher dieſe Bewegung vor ſich geht, iſt aber weit geringer als beim freien Fall, weil die bewegende Kraft, die Schwere des Uebergewichtes r, nicht allein die Maſſe r, ſondern die Maſſe $m + n + r$ in Bewegung zu ſetzen hat.

Wäre z. B. jedes der Gewichte m und n 7 Loth, r aber 1 Loth, ſo hätte das

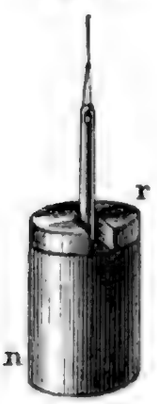
Uebergewicht von 1 Loth eine Maſſe von 15 Loth in Bewegung zu ſetzen; die Bewegung wird nach denſelben Geſetzen vor ſich gehen, wie beim freien Fall, nur mit dem einzigen Unterſchiede, daß die Intenſität der beſchleunigenden Kraft hier 15mal kleiner iſt. Wenn alſo ein frei fallender Körper in der erſten Secunde 15 Fuß durchfällt, ſo wird hier der Fallraum der erſten Secunde nur 1 Fuß ſein.

Man ſieht wohl ein, daß die Bewegung um ſo langſamer werden wird, je kleiner das Uebergewicht r im Verhältniß zu $m+n$ iſt, und man kann alſo durch zweckmäßige Veränderung von r die Bewegung ſo langſam machen als man will.

Um die Fallräume bequem meſſen zu können, iſt an der verticalen Säule eine in Zolle getheilte Scala angebracht. Der oberſte Punkt der Theilung iſt der Nullpunkt der Scala. Zwei Schieber, von denen der obere durchbrochen iſt, können an jeder Stelle der Scala feſtgeſtellt werden.

Fig. 148 zeigt die zweckmäßigſte Form des Gewichts n und des Uebergewichts r.

Fig. 148.



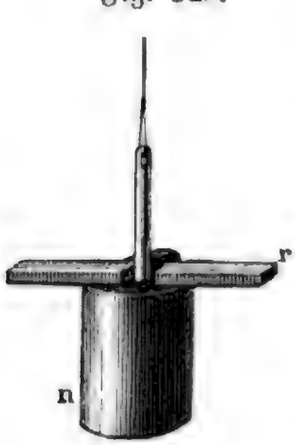
Soweit iſt die Kenntniß des Apparates nöthig, um den Zuſammenhang der Verſuche zu verſtehen.

Zunächſt läßt ſich mit der Fallmaſchine leicht darthun, daß ſich die Fallräume wie die Quadrate der Fallzeiten verhalten. Es ſei r ſo gewählt, daß der Fallraum der erſten Secunde 1 Zoll iſt. Wenn das untere Ende des Gewichts n, welches das Uebergewicht trägt, ſich in der Höhe des Nullpunktes der Scala befindet, ſo wird eine Secunde nach dem Beginne der Bewegung das Gewicht bei dem erſten nach dem Nullpunkte folgenden Theilſtrich eintreffen.

Wenn der Fallraum der erſten Secunde 1 Zoll iſt, ſo muß in den zwei erſten Secunden ein Weg von 4 Zoll zurückgelegt werden; wenn man alſo den unteren Schieber 4 Zoll unter den Nullpunkt ſtellt, ſo wird das Gewicht, welches beim Punkte Null ſeine Bewegung begonnen hat, am Ende der zweiten Secunde aufſchlagen.

Wenn man die Bewegung ſtets in demſelben Punkte, d. h. im Nullpunkte der Scala beginnen läßt, ſo hat man den Schieber 9, 16, 25, 36, 49, 64 Zoll unter dieſem Punkte feſtzuſtellen, wenn das Gewicht nach 3, 4, 5, 6, 7, 8 Secunden aufſchlagen ſoll. Der Verſuch beſtätigt vollkommen das Geſetz, daß ſich die Fallräume verhalten wie die Quadrate der Fallzeiten.

Fig. 149.



Wendet man ein Uebergewicht von der Form Fig. 149 an, ſo wird es auf dem durchbrochenen Schieber liegen bleiben, während n durch dieſen Schieber hindurchgeht. Wenn nun auf dieſe Weiſe das Gewicht abgenommen wird, ſo wirkt von dieſem Moment an keine beſchleunigende Kraft mehr, deſſenungeachtet dauert aber die Be-

wegung fort, und zwar mit gleichförmiger Geschwindigkeit, mit derjenigen nämlich, welche die Massen m und n in dem Momente haben, in welchem das Uebergewicht abgehoben wird.

Man kann nun den durchbrochenen Schieber so stellen, daß das Uebergewicht am Ende der zweiten, dritten u. s. w. Fallsecunde abgenommen wird, und dann leicht zeigen, daß nach Abnahme des Uebergewichts die Geschwindigkeit völlig gleichförmig ist, d. h. daß von diesem Augenblicke an in jeder folgenden Secunde ein gleich großer Weg zurückgelegt wird.

Beim freien Fall ist der Weg, der in der ersten Fallsecunde zurückgelegt wird, circa 15 pariſ. Fuß; in 2, 3, 4 Secunden ist demnach der Fallraum 60′, 135′, 240′ u. s. w. Für den freien Fall ist also der Werth von g ungefähr gleich 30′. Weiter unten bei der Lehre vom Pendel wird der Werth von g genauer angegeben werden.

Es ist häufig von Wichtigkeit, aus den gegebenen Fallhöhen unmittelbar die entsprechende Geschwindigkeit berechnen zu können. Eine Formel, nach welcher diese Rechnung auszuführen ist, ergiebt sich durch die Combination der Gleichungen 1) auf Seite 123 und 2) auf Seite 124. Durch Elimination von t findet man

$$v = \sqrt{2gs} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 3)$$

Die Geschwindigkeiten verhalten sich also wie die Quadratwurzeln aus den Fallräumen. Wäre z. B. ein Körper von der Höhe von 100 Fuß herabgefallen, so ist nach dieser Formel seine Geschwindigkeit

$$v = \sqrt{2 . 30 . 100} = 77{,}4\ldots \text{ Fuß}$$

(natürlich ohne Berücksichtigung des Luftwiderstandes).

Gleichförmig verzögerte Bewegung. Wenn ein Körper 73
durch einen Stoß vertical in die Höhe geworfen wird, so steigt er mit abnehmender Geschwindigkeit; nach einiger Zeit hört seine aufwärts gerichtete Bewegung auf, und er beginnt zu fallen. Die Gesetze dieser Bewegung folgen unmittelbar aus dem Vorhergehenden.

Gesetzt, der Körper sei mit einer Geschwindigkeit von 150′ in die Höhe geworfen worden, so würde er, wenn die Schwere nicht wirkte, in jeder Secunde 150′ steigen. Da die Schwere einem fallenden Körper in 1, 2, 3, 4, 5 Secunden eine Geschwindigkeit von 30′, 60′, 90′, 120′, 150′ u. s. w. ertheilt, welche der Richtung unserer Bewegung entgegengesetzt ist, so ist klar, daß die Geschwindigkeit des steigenden Körpers am Ende der 1sten Secunde 150 — 30 = 120′ ist; am Ende der 2ten Secunde ist die Geschwindigkeit 150 — 60 = 90′; am Ende der 3ten 150 — 90 = 60′; am Ende der 4ten 150 — 120 = 30′; am Ende der 5ten endlich 150 — 150 = 0, und nun beginnt also der Körper zu fallen. Wir haben hier das Beispiel einer gleichförmig verzögerten Bewegung; denn die Geschwindigkeit des steigenden Körpers nimmt in jeder Secunde um gleich viel, nämlich um 30′ ab.

Stellen wir dies allgemeiner dar. Es ſei n die Geſchwindigkeit beim Beginn des Steigens, ſo iſt die Geſchwindigkeit des Körpers nach t Secunden

$$v = n - gt.$$

Das Steigen hört auf, wenn $v = 0$, alſo wenn $gt = n$, d. h. wenn die in t Secunden erlangte Fallgeſchwindigkeit der Geſchwindigkeit gleich iſt, mit welcher der Körper zu ſteigen begonnen hat.

Die Zeit, welche der Körper braucht, um den Gipfel ſeiner Bahn zu erreichen, iſt alſo;

$$t = \frac{n}{g} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

Suchen wir nun die Höhe zu beſtimmen, welche der ſteigende Körper nach einer gegebenen Zeit erreicht hat. Bei dem oben gewählten Beiſpiel würde der Körper nach 1, 2, 3 u. ſ. w. Secunden die Höhe von 150, 300, 450 u. ſ. w. Fuß erreicht haben, wenn die Schwere ihn nicht herabzöge. Wie wir aber geſehen haben, zieht ihn die Schwere in der 1ſten Secunde 15 Fuß herab, in 2 Secunden 4.15 oder 60′, in 3 Secunden 9.15 oder 135′. Seine Höhe am Ende der 1ſten Secunde iſt alſo $150 - 15 = 135'$; am Ende der 2ten, 3ten Secunde iſt ſeine Höhe $300 - 60 = 240'$, $450 - 135 = 315'$ u. ſ. w. Nach 5 Secunden hätte er die Höhe von 750′ erreicht, iſt aber durch die Wirkung der Schwere $15 \times 5^2 = 375'$ herabgezogen, er befindet ſich alſo wirklich in einer Höhe von $750 - 375 = 375$ Fuß, und nun beginnt er wieder zu fallen.

Betrachten wir die Sache allgemeiner. In t Secunden würde der Körper vermöge ſeiner urſprünglichen Geſchwindigkeit n zu der Höhe nt ſteigen, er iſt aber durch die Schwere um $\frac{g}{2}t^2$ herabgezogen worden, ſeine wirkliche Höhe iſt demnach

$$h = nt - \frac{g}{2}t^2.$$

Da der Gipfel der Bahn erreicht wird, wenn $t = \frac{n}{g}$, ſo findet man die Höhe H, welche der Körper in dieſem Momente erreicht, wenn man in der letzten Gleichung ſtatt t dieſen Werth ſetzt, alſo

$$H = \frac{n^2}{g} - \frac{g}{2}\frac{n^2}{g^2} = \frac{n^2}{g} - \frac{n^2}{2g},$$

und daraus endlich

$$H = \frac{n^2}{2g} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 2)$$

Die Zeit, welche ein Körper braucht, um die Höhe H zu durchfallen, iſt aber

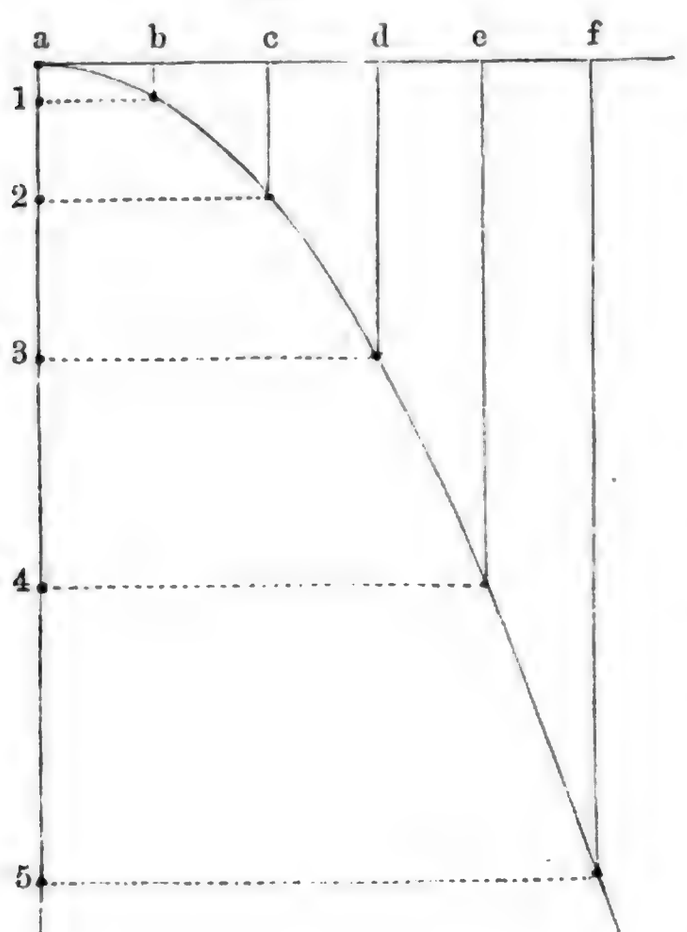
$$T = \sqrt{\frac{2H}{g}} = \sqrt{\frac{2n^2}{2g^2}} = \frac{n}{g},$$

zum Herabfallen von der Höhe H braucht alſo der Körper ebenſoviel Zeit, als er zum Aufſteigen bis zu der Höhe H nöthig hatte.

Die Geschwindigkeit, mit welcher der herabfallende Körper wieder in dem Punkte ankommt, in welchem er die steigende Bewegung begann, finden wir nach der Formel $v = gt$; da aber die Fallzeit $t = \frac{n}{g}$, so ergiebt sich $v = n$, d. h. der Körper kommt mit derselben Geschwindigkeit unten wieder an, mit der er zu steigen begann; oder um einen Körper bis zu einer Höhe h vertical in die Höhe zu treiben, muß man ihm eine Anfangsgeschwindigkeit ertheilen, die gerade so groß ist als diejenige, welche er durch den freien Fall von der Höhe h herab erlangt.

Wurfbewegung. Wenn ein Körper in einer anderen als in der ver- 74
ticalen Richtung geworfen wird, so beschreibt er eine krumme Linie, deren Gestalt sich aus den Gesetzen des Falles leicht ableiten läßt. Nehmen wir den einfachsten Fall, nämlich den, daß der Körper durch irgend eine Kraft in horizontaler Richtung fortgestoßen worden sei. Wenn die Schwere nicht wäre, so würde er sich fortwährend in horizontaler Richtung bewegen, und zwar mit gleichförmiger Geschwindigkeit. Vermöge dieses Stoßes würde er in der ersten Secunde den Weg $a\,b$, Fig. 150, in der zweiten den gleich großen Weg $b\,c$ u. s. w. zurücklegen, er müßte sich also am Ende der ersten, zweiten, dritten u. s. w. Secunde in den Punkten b, c, d u. s. w. befinden. Durch die Schwere aber ist er gesunken. In der ersten Secunde ist er um 15 Fuß gefallen, er wird sich also am Ende derselben nicht in b, sondern 15 Fuß unter b befinden. Am Ende der zweiten Secunde ist er 60 Fuß unter c, am Ende der dritten 135 Fuß unter d u. s. w. Die krumme Linie, welche der Körper auf diese Weise beschreibt, ist eine Parabel.

Fig. 150.



Wenn der Stoß in irgend einer anderen

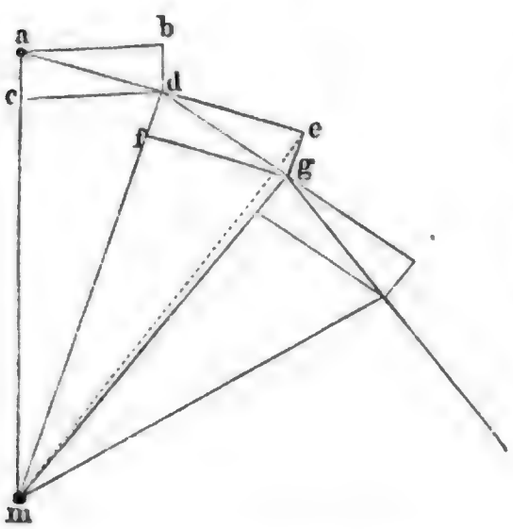
Richtung ſtattfindet, ſo läßt ſich die Bahn auf dieſelbe Weiſe durch Conſtruction ermitteln. (Siehe Supplementband §. 26.)

Die Bahn, welche ein geworfener Körper wirklich beſchreibt, die balliſtiſche Curve, weicht wegen des Widerſtandes der Luft bedeutend von der paraboliſchen Geſtalt ab.

75 **Centralbewegung.** Wir haben jetzt noch den Fall zu betrachten, daß die Richtung der beſchleunigenden Kraft, welche auf den bewegten Körper wirkt, nicht mehr, wie bei der Wurfbewegung für die verſchiedenen Punkte ſeiner Bahn als gleichgerichtet betrachtet werden kann, ſondern daß ſie ſtets gegen einen feſten Anziehungsmittelpunkt hin gerichtet iſt.

Denken wir uns, daß der Punkt a, Fig. 151, welcher durch eine ſtetig wirkende Anziehungskraft nach dem Punkte m hingetrieben wird, beim Beginne ſeiner Bewegung durch irgend eine momentan wirkende Kraft einen Stoß in der Richtung $a\,b$ erhalten hätte, ſo wird er ſich weder in der Richtung $a\,b$, noch in der Richtung $a\,c$ bewegen, ſondern in einer anderen $a\,d$, die ſich nach dem Geſetze des Parallelogramms der Kräfte ausmitteln läßt. Um die Betrachtung einfacher zu machen, wollen wir annehmen, daß die ſtets nach m gerichtete anziehende Kraft ſtoßweiſe in kleinen Intervallen wirke. Man wird ſich bei dieſer Betrachtungsweiſe um ſo weniger von der Wahrheit entfernen, je kleiner man ſich dieſe Intervalle denkt.

Fig. 151.



Wenn der ſeitwärts gerichtete Stoß für ſich allein den materiellen Punkt in einem kleinen Zeittheilchen t von a nach b, die anziehende Kraft, für ſich allein wirkend, ihn in derſelben Zeit nach c führen würde, ſo bewegt er ſich unter Einwirkung beider Kräfte in dem Zeittheilchen t von a nach d. In d angekommen, würde er ſich in der Richtung $d\,e$ weiter bewegen, und zwar würde der in der Zeit t zurückgelegte Weg $d\,e$ gerade ſo groß ſein wie $a\,d$, wenn nicht die anziehende Kraft von Neuem wirkte, und zwar ſo, als ob der Körper in d einen Stoß erhalten hätte, der ihn, für ſich allein wirkend, in der Zeit t von d nach f geführt haben würde. Durch dieſe abermalige Einwirkung der anziehenden Kraft wird alſo der Körper wieder von der Richtung $d\,e$ abgelenkt und nach g geführt. Man begreift danach leicht, daß, wenn der Körper in a einmal einen ſeitwärts gerichteten Stoß empfangen hat, die anziehende Kraft aber ſtoßweiſe in kleinen Intervallen wirkt, alsdann der Körper ein Polygon beſchreiben muß, welches ſich einer krummen Linie um ſo mehr nähert, je kürzer jene Intervalle ſind. Wenn die anziehende Kraft ſtetig wirkt, wie dies in der Natur wirklich der Fall iſt, ſo iſt die Bahn eine

krumme Linie, deren Natur von dem Verhältnisse der sie bedingenden Kräfte abhängt.

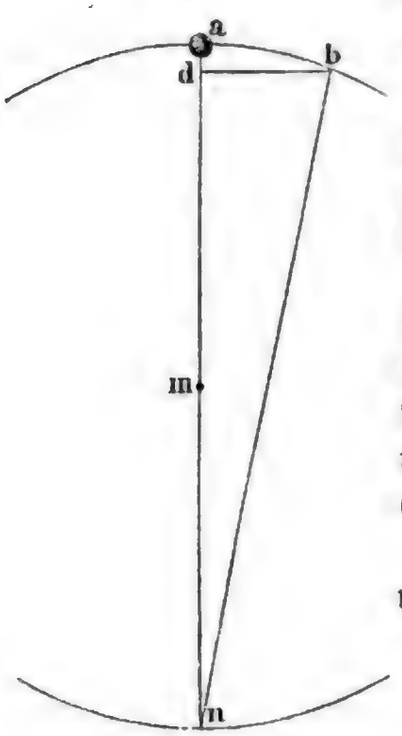
Die Kraft, welche den Körper stets nach dem Anziehungsmittelpunkte hintreibt, wird mit dem Namen Centripetalkraft bezeichnet. Wenn in irgend einem Momente der Centralbewegung die Centripetalkraft zu wirken aufhörte, so würde von dem Augenblicke an der Körper sich in der Richtung der Tangente fortbewegen, und zwar mit einer Kraft, welche den Namen Tangentialkraft führt.

Je nach dem Verhältnisse zwischen Tangentialkraft und Centripetalkraft kann die Bahn ein Kreis, eine Ellipse u. s. w. sein. Hier können wir nur die kreisförmige Centralbewegung näher betrachten.

Suchen wir die Beziehungen auszumitteln, welche zwischen der Größe der Centripetalkraft, dem Halbmesser des durchlaufenen Kreises und der Umlaufszeit stattfindet.

In Fig. 152 sei m der Mittelpunkt des Kreises, welchen ein sich eben in a befindlicher Körper durchläuft; ab sei der Weg, welchen er in der Zeiteinheit, also in 1″ zurücklegt. Fällt man von b ein Perpendikel bd auf den von a aus gezogenen Durchmesser des Kreises, so ist offenbar ad der Weg, um welchen der Körper a in der Zeiteinheit gegen m hin sich bewegen würde, wenn er nicht schon eine Tangentialgeschwindigkeit hätte, sondern lediglich durch die Centripetalkraft gegen m hin getrieben würde.

Fig. 152.



Einem bekannten Satze der Geometrie zufolge ist nun ab (wenn wir den Bogen ab als geradlinig betrachten, was ohne merklichen Fehler geschehen kann, wenn ab nur ein kleiner Theil des Kreisumfangs ist) die mittlere Proportionale zwischen ad und an, es ist also

$$ab^2 = ad \times an$$

und daraus

$$ad = \frac{ab^2}{an}.$$

Es ist aber an der Durchmesser des Kreises, also $2r$, wenn mit r der Radius desselben bezeichnet wird; ferner ist der in der Zeiteinheit zurückgelegte Bogen ab gleich dem Kreisumfange, dividirt durch die Umlaufszeit, also $ab = \frac{2\pi r}{t}$. Bezeichnen wir ferner den Weg ad, um welchen sich der Körper a unter alleinigem Einfluß der Centripetalkraft dem Mittelpunkt m in der Zeiteinheit nähern würde, durch p, so haben wir also

$$p = \frac{2\pi^2 r}{t^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Die Endgeschwindigkeit v, welche der Körper unter dem Einfluß der Centripetalkraft am Ende der ersten Secunde erlangen würde, ist aber (nach §. 71) gleich $2p$, also

$$v = \frac{4\pi^2 r}{t^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

und diese Größe ist das Maß für die Centripetalkraft.

Bei einer kreisförmigen Centralbewegung ist also die Centripetalkraft dem Halbmesser des Kreises direct und dem Quadrate der Umlaufszeit umgekehrt proportional.

76 **Schwungkraft.** Wenn man irgend einen schweren Körper an dem einen Ende einer Schnur befestigt, und ihn, das andere Ende in der Hand haltend, im Kreise herumschwingt, wie es Fig. 153 andeutet, so wird die Schnur fortwährend eine Spannung auszuhalten haben, welche mit der Schnelligkeit der Umdrehung wächst. Wenn in irgend einem Momente die Schnur durchschnitten würde, so würde der Körper nicht mehr im Kreise sich fortbewegen, sondern sich vermöge seiner Trägheit in tangentialer Richtung von der Kreisbahn entfernen.

Fig. 153.

Die Ursache der Spannung, welche die Schnur erleidet, nennt man Centrifugalkraft, Fliehkraft, Schwungkraft. Da aber hier der Widerstand der Schnur denselben Effect hervorbringt, wie die oben bei der freien Centralbewegung betrachtete Centripetalkraft, so ist klar, daß die Centrifugalkraft der Centripetalkraft gleich und entgegensetzt ist, und daß von der Centrifugalkraft Alles gilt, was von der Centripetalkraft gesagt wurde, d. h. die Beschleunigung, mit welcher die Schwungkraft den rotirenden Körper vom Mittelpunkte seiner Kreisbahn zu entfernen strebt, ist gleichfalls

$$v = \frac{4\pi^2 r}{t^2}.$$

Schwungkraft tritt überall da auf, wo eine Rotation um eine feste Axe stattfindet, und die einzelnen Theilchen auf irgend eine Weise verhindert sind, sich von jener Axe zu entfernen. Eine solche Schwungkraft muß also auch bei der Rotation der Erde um ihre eigene Axe erzeugt werden. Da die Umlaufszeit für alle Punkte auf der Erde gleich groß ist, aber die verschiedenen Punkte nicht gleich weit von der Umdrehungsaxe entfernt sind, so ist klar, daß nicht überall auf der Erdoberfläche jene Schwungkraft gleich sei, sondern sich verhalte wie die Entfernungen von der Erdaxe; sie ist also gleich Null an den Polen und erreicht ihr Maximum an dem Aequator.

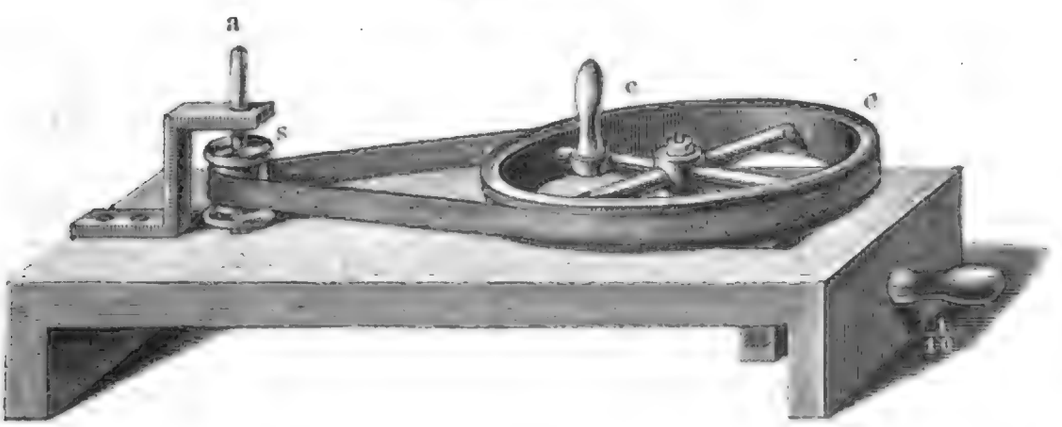
Diese Schwungkraft, welche am Aequator am größten ist und nach den Polen hin abnimmt, wirkt der Schwere entgegen, sie vermindert gleichsam die Intensität der Schwere. Es läßt sich leicht berechnen, wie groß die Umdrehungs-

geſchwindigkeit der Erde um ihre Axe ſein müßte, wenn die dadurch erzeugte Schwungkraft am Aequator die Wirkung der Schwere daſelbſt vollſtändig aufheben ſollte.

Wenn das Gefäß in Fig. 153 mit Waſſer gefüllt iſt, ſo kann dies nicht ausfließen, ſelbſt wenn ſeine Oeffnung nach unten gekehrt wird, ſobald ſeine Umdrehungsgeſchwindigkeit ſo groß iſt, daß die Schwungkraft (der Werth von v auf Seite 132) größer wird als die beſchleunigende Kraft der Schwere.

Um Verſuche über die Schwungkraft anzuſtellen, wendet man die ſogenannte Centrifugal- oder Schwungmaſchine an. Eine ſolche iſt in Fig. 154 dargeſtellt. — Eine größere Scheibe iſt mit einer kleineren durch einen geſpannten

Fig. 154.

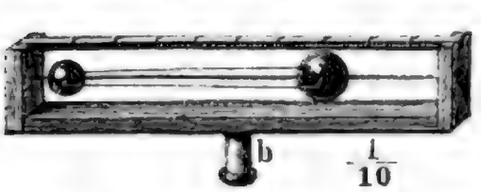


Riemen verbunden, ſo daß, wenn man die größere Scheibe mittelſt einer Handhabe umdreht, die Bewegung in der Art auf die kleinere übertragen wird, daß dieſelbe eine größere Anzahl von Umdrehungen macht. Schraubt man nun irgend einen Gegenſtand auf die Umdrehungsaxe der kleinen Scheibe auf, ſo kann man denſelben durch Umdrehung der großen Scheibe in ſehr raſche Rotation verſetzen.

Unter verſchiedenen Verſuchen, die man mit der Schwungmaſchine zur Erläuterung der Schwungkraft anſtellen kann, wollen wir hier nur einige anführen.

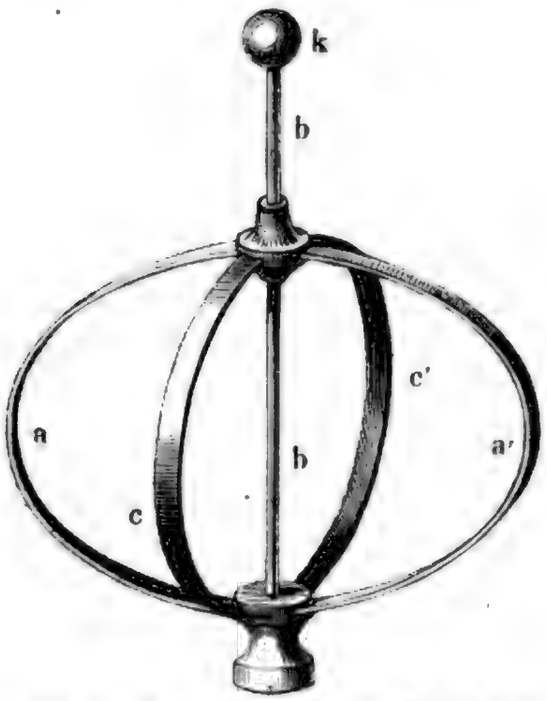
Der Apparat Fig. 155 ſei mit der Hülſe b auf den Zapfen a der Schwungmaſchine angeſchraubt. An einem horizontalen Metallſtäbchen ſind zwei Kugeln von Holz oder Elfenbein leicht verſchiebbar angebracht, welche durch Schnüre ſo verbunden ſind, daß ſie nicht über eine gewiſſe Gränze von einander entfernt werden können. Wird der Apparat in raſche Rotation verſetzt, ſo wird jede Kugel ein Beſtreben haben, ſich von der Umdrehungsaxe zu entfernen, aber ſie können nicht auseinanderfahren, weil dies durch die Schnüre gehindert iſt; diejenige Kugel, deren Schwungkraft größer iſt, wird alſo die andere nach ihrer Seite hin nachziehen. Soll die Schwungkraft beider gleich ſein, ſoll alſo keine Bewegung entſtehen, ſo muß die große Kugel in dem Verhältniß der Umdrehungsaxe näher ſtehen, als ihre Maſſe die der anderen übertrifft.

Fig. 155.



Der Apparat Fig. 156 dient, um die Abplattung der Erde zu erläutern. An dem unteren Ende der eisernen Axe b, welche auf die Schwungmaschine aufgeschraubt wird, sind mehrere elastische Streifen a, c, a', c' von Messingblech be-

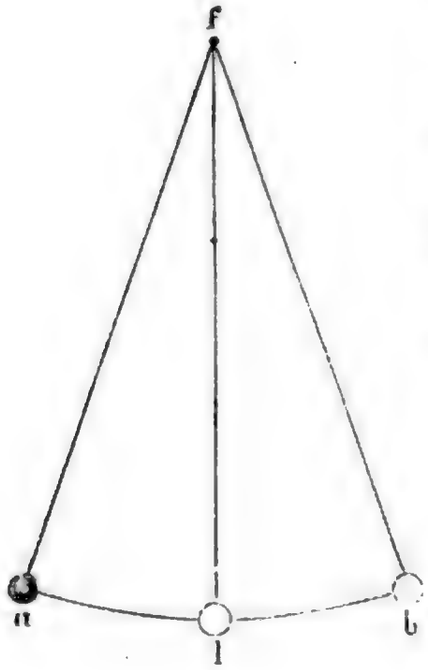
Fig. 156.



festigt, die oben wieder an einer leicht auf der Axe b verschiebbaren Hülse zusammenlaufen. Im Zustande der Ruhe strecken sich die Federn a, a', c und c' so, daß die Hülse an dem Knopfe k ansteht: sobald aber der Apparat rasch um die Axe b rotirt, nehmen die Metallstreifen die in der Figur angedeutete Gestalt an, indem alle Theilchen derselben sich möglichst weit von der Rotationsaxe zu entfernen streben. Je schneller die Umdrehung ist, desto mehr werden die Streifen gekrümmt, desto tiefer also die Hülse herabgezogen.

77 **Vom Pendel.** Das gewöhnliche Pendel (Fig. 157) besteht aus einer schweren Kugel, welche am Ende eines biegsamen Fadens aufgehängt ist. Bringt man die Kugel aus ihrer Gleichgewichtslage, das heißt bringt man das Pendel aus seiner verticalen Stellung, so macht es, wenn man es losläßt, ohne ihm irgend einen Anstoß zu geben, Schwingungen, welche fortwährend in derselben Verticalebene bleiben. Bringt man z. B. das Pendel in die Lage fa, so beschreibt die Kugel den Bogen al; in l kommt sie mit solcher Geschwindigkeit an, daß sie auf der anderen Seite bis b steigt, d. h. zu der Höhe des Punktes a; vom Punkte b geht die Kugel abermals zurück, durchläuft in umgekehrter Richtung wieder den Bogen bla und setzt auf dieselbe Weise ihre Schwingungen fort. Beim

Fig. 157.



Niedergange des Pendels nimmt seine Geschwindigkeit fortwährend zu, beim Aufsteigen nimmt sie ab; in dem Momente also, in welchem das Pendel die Gleichgewichtslage passirt, hat es seine größte Geschwindigkeit.

Der Winkel *afl* heißt Ausschlagswinkel oder auch nur Ausschlag.

Die Bewegung von *a* bis *b* oder von *b* bis *a* heißt eine Oscillation; von *a* bis *l* ist eine halbe niedergehende, von *l* bis *b* eine halbe aufsteigende Oscillation.

Die Amplitude einer Oscillation ist die in Graden, Minuten und Secunden ausgedrückte Größe des Bogens *ab*.

Die Dauer einer Oscillation ist die Zeit, welche das Pendel nöthig hat, um diesen Bogen zu durchlaufen.

Nach dem ersten Anblicke sollte man aus den Versuchen schließen, daß die Bewegung eines Pendels immer fortdauern müßte; denn wenn es von *a* ausgehend auf der anderen Seite zu einer gleichen Höhe *b* ansteigt, so muß es von *b* ausgehend auch wieder bis *a* steigen, und es wird so denselben Weg zum zweiten, zum dritten Male u. s. w. bis ins Unendliche machen müssen.

Dieser Schluß würde ganz richtig sein, wenn *b* wirklich absolut gleiche Höhe mit *a* hätte; aber die Reibung am Aufhängepunkte *f*, der Widerstand der Luft, welche die Kugel vor sich wegtreiben muß, machen es unmöglich, daß die Kugel genau wieder bis zu der Höhe steigt, von welcher sie herabfiel. Die Differenz wird freilich erst nach einer Reihe von Schwingungen merklich.

Gesetze der Pendelschwingungen. Die Gesetze der Schwin- 78
gungen einfacher Pendel sind folgende:

1) Die Schwingungsdauer ist vom Gewichte der Kugel und von der Natur ihrer Substanz unabhängig.

Um dies zu beweisen, mache man mehrere Pendel von gleicher Länge; die Kugel des einen von Metall, die des anderen von Wachs, die des dritten von Holz u. s. w., und man wird finden, daß sie alle gleiche Schwingungsdauer haben.

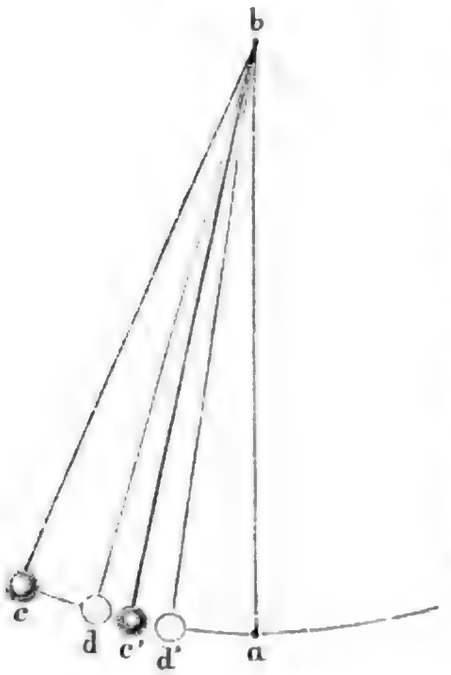
Aus diesem Versuche ergiebt sich die Richtigkeit des bereits in §. 8 aufgestellten Satzes, daß das Gewicht eines Körpers stets seiner Masse proportional ist, und daß gleiche Massen verschiedener Substanzen doch mit gleicher Kraft zur Erde niedergezogen werden. Dasselbe folgt auch aus dem Fallversuch im leeren Raum, doch ist dies nur ein roher Versuch, weil er die Wirkung der Schwere nur während einer sehr kurzen Zeit beobachten läßt. Das Pendel aber macht es möglich, die Wirkung der Schwere auf verschiedene Stoffe während längerer Zeit zu beobachten.

2) Die Dauer kleiner Oscillationen eines und desselben Pendels ist von der Größe der Schwingungen unabhängig. Wenn z. B. ein Pendel mit einer Amplitude von 1 bis 2^0 schwingt, so ist die Schwingungsdauer dieselbe, als ob die Ausweichung nur $^1/_2{}^0$ betrüge.

Dies Gesetz läßt sich folgendermaßen entwickeln. Wenn der Ausweichungswinkel nicht gar zu groß ist, so ist die Neigung der Bahn gegen die Horizontale der Entfernung von der Gleichgewichtslage proportional. Denken wir uns

z. B. in c, Fig. 158, eine Tangente an den Kreisbogen gelegt, ſo macht ſie mit der Horizontalen einen Winkel, welcher doppelt ſo groß iſt als derjenige, welchen eine in c' an die Kreisbahn gezogene Tangente mit der Horizontalen macht, vorausgeſetzt, daß der Bogen $c'a$ halb ſo groß iſt als der Bogen ca; wenn alſo das Pendel in c ſeine Bewegung beginnt, ſo iſt die beſchleunigende Kraft doppelt ſo groß, als wenn es von c' ſeinen Niedergang beginnt; der Bogen cd, den wir ſo klein annehmen wollen, daß wir ihn als geradlinig betrachten können, und der Bogen $c'd'$, welcher nur halb ſo groß iſt, werden alſo in gleichen Zeiten durchlaufen, wenn die Bewegung einmal in c, ein andermal in c' beginnt.

Fig. 158.



Denken wir uns an einer Axe zwei gleiche Pendel aufgehängt, das eine bis c, das andere bis c' gehoben und gleichzeitig losgelaſſen, ſo werden ſie gleichzeitig in den Punkten d und d' ankommen. Die beſchleunigende Kraft in d iſt aber doppelt ſo groß als in d', außerdem aber langt das eine Pendel in d mit einer Geſchwindigkeit an, welche doppelt ſo groß als diejenige iſt, mit welcher das andere den Punkt d' paſſirt, und daraus folgt denn, daß in dem nächſten kleinen Zeittheilchen das eine Pendel abermals einen doppelt ſo großen Weg zurücklegt als das andere. Auf dieſe Weiſe fortſchließend findet man endlich, daß beide Pendel gleichzeitig in a ankommen müſſen.

Dieſe Schlußweiſe läßt ſich auch noch anwenden, wenn das Verhältniß der Ausſchlagswinkel nicht gerade das von 1 zu 2, ſondern ein anderes iſt, weil für kleine Ausſchlagswinkel die beſchleunigende Kraft ſtets der Entfernung von der Gleichgewichtslage proportional iſt; und ſo läßt ſich allgemein zeigen, daß bis zu einer gewiſſen Gränze hin die Schwingungsdauer von der Größe der Ausſchlagswinkel nicht abhängt.

Um dies Geſetz durch den Verſuch zu beſtätigen, muß man die Zeit genau beſtimmen, welche nöthig iſt, damit ein Pendel mehrere hundert Schwingungen macht. Macht man dieſe Beobachtung zu Anfang der Bewegung, wenn die Amplitude 2 bis 3^0 iſt, ſpäter, wenn ſie nur noch 1^0 beträgt, und zuletzt, wenn die Oſcillationen ſo klein geworden ſind, daß man ſie mit der Lupe beobachten muß, ſo findet man, daß die Oſcillationen in dieſen drei Stadien wirklich iſochron ſind.

3) Die Schwingungsdauer zweier ungleich langer Pendel verhält ſich wie die Quadratwurzel aus den Pendellängen.

Man denke ſich den Schwingungsbogen ab eines Pendels in ſo viel gleiche Theile getheilt, daß man jedes dieſer Bogentheilchen als geradlinig betrachten

kann. Wenn nun der Ausschlagswinkel eines längeren Pendels eben so groß ist, so muß sich der Schwingungsbogen cd, Fig. 159, zum Schwingungsbogen ab verhalten wie die Pendellängen. Denken wir uns den Bogen dc in eben so viel gleiche Theile getheilt wie den Bogen ab, so werden auch die einzelnen Theile im Verhältniß der Pendellängen stehen. Wenn also das eine Pendel 4mal so lang ist als das andere, so werden auch jene Unterabtheilungen des Bogens dc 4mal so groß sein als die entsprechenden Theile des Bogens ab. Der Winkel, welchen das oberste, das zweite, dritte u. s. w. Bogentheilchen von ab mit der Horizontalen macht, ist gleich dem Winkel, welchen das erste, zweite, dritte u. s. w. Bogentheilchen von cd mit derselben macht; auf den entsprechenden Theilen von ab und cd ist demnach auch die beschleunigende Kraft dieselbe.

Fig. 159.

Fig. 160.

Wenn aber verschiedene Wege mit gleicher beschleunigender Kraft durchlaufen werden, so lehrt uns die Formel $s = \frac{g}{2} t^2$, daß sich die Fallzeiten verhalten wie die Quadratwurzeln der Fallräume; wenn also jedes der Theilchen von cd 2-, 3-, 4-, $n$mal so groß ist als das entsprechende Theilchen von ab, so wird die Zeit, in welcher ein Theilchen von cd durchfallen wird, auch $\sqrt{2}, \sqrt{3}, \sqrt{4}, \sqrt{n}$mal so groß sein als die, in welcher das entsprechende Theilchen von ab durchlaufen wird. Da dies aber für alle Theilchen gilt, so gilt es auch für ihre Summe, was denn mit anderen Worten heißt, die Schwingungsdauer ist der Quadratwurzel aus der Pendellänge proportional.

Um die Richtigkeit des dritten Gesetzes durch den Versuch nachzuweisen, nehme man drei Pendel von verschiedener Länge. Wenn sich z. B. die Pendellängen wie die Zahlen 1, 4, 9 verhalten, so verhalten sich die entsprechenden

Schwingungszeiten wie die Zahlen 1, 2, 3. Am bequemsten hängt man zu diesem Versuche die Kugeln an einem doppelten Faden auf, wie Fig. 160 zeigt. Während ein Pendel, dessen Länge 4 Fuß ist, eine Oscillation macht, macht das viermal kürzere Pendel zwei Oscillationen; und während ein Pendel von 1 Fuß Länge dreimal hin und her geht, macht ein 9 Fuß langes nur einen Hin- und Hergang.

Die Beziehung zwischen der Pendellänge l und der Schwingungsdauer t ist ausgedrückt durch die Gleichung

$$t = 3{,}14\sqrt{\frac{l}{g}},$$

wo g die beschleunigende Kraft der Schwere bezeichnet. Aus genauen Pendelversuchen ergiebt sich $g = 9{,}8$ Meter $= 31{,}22$ rheinl. $= 30{,}16$ par. Fuß.

Die Länge eines einfachen Pendels, welches Secunden schlägt, beträgt 994 Millimeter.

79 **Das materielle Pendel.** Die oben entwickelten Pendelgesetze gelten strenge genommen nur für ein ideales Pendel. Ein solches Pendel kann man sich wohl vorstellen, aber nicht construiren; denn es müßte aus einem einfachen Faden ohne alles Gewicht bestehen, und an seinem Ende dürfte sich nur ein schwerer Punkt befinden.

Jedes Pendel, welches diesen beiden Forderungen nicht entspricht, ist ein zusammengesetztes Pendel. Ein gewichtloser und unbiegsamer Faden also, an welchem sich nur zwei schwere Moleküle m und n befinden, würde demnach schon ein zusammengesetztes Pendel sein. Das Molekül m, welches dem Aufhängepunkte näher ist als n, würde für sich allein schneller schwingen als m; weil aber die beiden Moleküle verbunden sind, so wird m die Bewegung von n beschleunigen, und umgekehrt wird n die Bewegung von m verzögern, die Schwingungen werden deshalb mit einer Geschwindigkeit vor sich gehen, welche zwischen den Geschwindigkeiten liegt, mit welchen jedes der Moleküle m und n für sich allein schwingen würde. Die Schwingungsdauer des zusammengesetzten Pendels Fig. 161 ist gleich der eines einfachen, welches länger ist als fm und kürzer als fn. Eben so verhält es sich mit jedem materiellen Pendel. Diejenigen Theile des Pendels nämlich, welche dem Aufhängungspunkte näher liegen, sind in ihrer Bewegung durch die entfernteren verzögert, die entfernteren aber durch die näheren beschleunigt. Es muß demnach auch für jedes zusammengesetzte Pendel einen Punkt geben, welcher durch die übrige Masse des Pendels weder beschleunigt, noch verzögert ist, welcher gerade so schnell schwingt wie ein einfaches Pendel, dessen Länge seiner Entfernung vom Aufhängepunkte gleich ist. Dieser Punkt heißt Schwingungspunkt, Centrum oscillationis. Wenn man von der Länge eines zusammengesetzten Pendels spricht, so versteht man darunter die Entfernung dieses Punktes vom Aufhängepunkte oder, was dasselbe ist, die Länge eines einfachen Pendels von gleicher Schwingungsdauer.

Fig. 161.

Am meisten nähert sich dem idealen Pendel ein solches, welches aus einem dünnen Faden besteht, an dessen unterem Ende eine Kugel oder ein Doppelkegel einer Substanz von großem specifischen Gewicht hängt. Wenn der Faden einigermaßen lang und der Durchmesser der Kugel klein im Verhältnisse zur Länge des Pendels ist, so kann man ohne merklichen Fehler den Schwerpunkt der Kugel für den Schwingungspunkt des Pendels nehmen, oder, mit anderen Worten, man darf ein solches Pendel als ein einfaches betrachten.

Bei jedem materiellen Pendel, welches bedeutender von der Form eines einfachen Pendels abweicht, ist jedoch der Schwerpunkt durchaus nicht mehr der Schwingungspunkt; wo aber der Schwingungspunkt eines materiellen Pendels liege, durch Rechnung zu finden, ist in den meisten Fällen eine schwierige Aufgabe, weil man bei dieser Rechnung nicht allein die beschleunigende Kraft der Schwere der einzelnen in verschiedenen Entfernungen vom Drehpunkte liegenden materiellen Theilchen, sondern auch den Widerstand berücksichtigen muß, welchen sie vermöge der Trägheit ihrer Masse einer Beschleunigung entgegensetzen.

Daß der Schwingungspunkt eines materiellen Pendels nicht mit seinem Schwerpunkt zusammenfallen kann, ergiebt sich am einfachsten aus der Betrachtung eines solchen Pendels, bei welchem ein Theil der Masse über dem Aufhängepunkte sich befindet. Ein solches Pendel schwingt bedeutend langsamer, als es schwingen würde, wenn sein Schwerpunkt der Schwingungspunkt wäre.

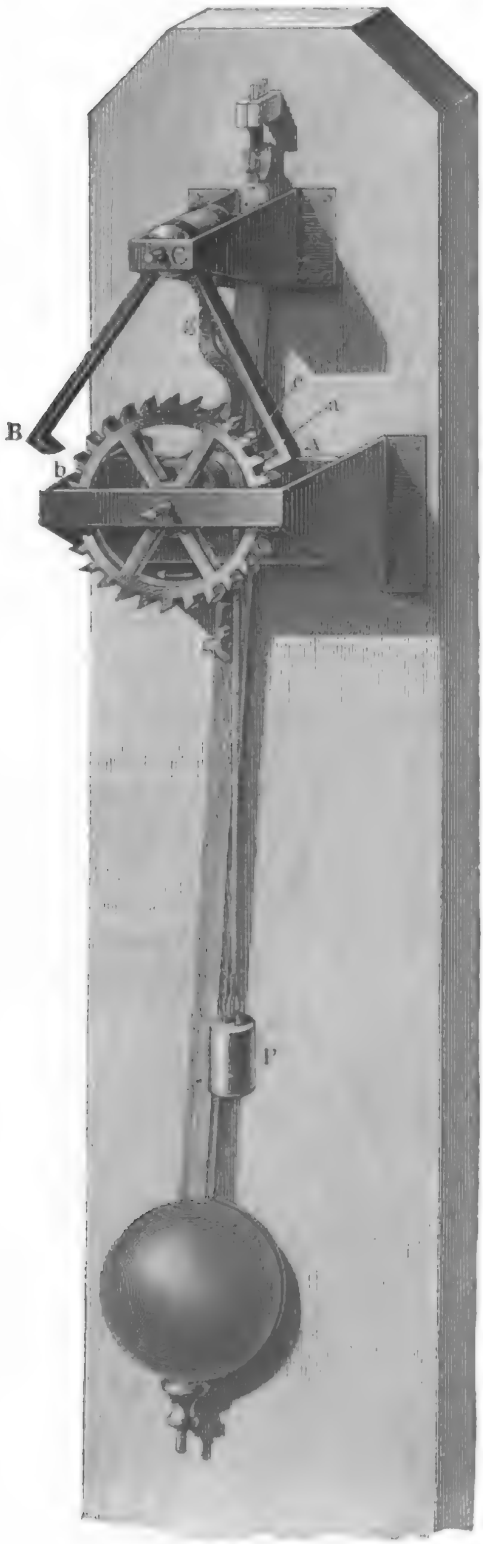
Fig 162.

Fig. 162 stellt einen geraden eingetheilten Stab vor, welcher in der Mitte mit einer Schneide versehen ist, wie die, welche den Drehpunkt eines Wagbalkens bildet. Wenn man nun 1 Decimeter unter und 1 Dec. über dieser Schneide eine Bleilinse, jede etwa 2 Pfund schwer, befestigt und die Schneide auf ihre Unterlage aufsetzt, so ist die Stange mit ihren Linsen im Zustande des indifferenten Gleichgewichts, denn der Schwerpunkt des Systems fällt mit dem Drehpunkte zusammen. Sobald man aber am unteren Ende des Stabes ein kleines Uebergewicht anbringt, so ist das Ganze ein Pendel. Die Schwingungen dieses Pendels sind aber selbst noch langsamer als die Schwingungen eines einfachen Pendels von der Länge $a\,b$; denn die einzige Kraft, welche das ganze System in Bewegung setzt, ist die Schwere des untersten Bleigewichts b, dieses hat aber nicht allein seine eigene Masse in Bewegung zu setzen, wie es bei einem einfachen Pendel der Fall gewesen wäre, sondern sie hat auch noch die Massen der Linsen bei c und d zu bewegen.

Es erklärt sich dadurch, warum ein Wagbalken, den man ebenfalls als ein Pendel betrachten kann, so langsam schwingt, obgleich sich sein Schwerpunkt ganz nahe unter dem Aufhängepunkte befindet, er also sehr schnell schwingen müßte, wenn der Schwerpunkt wirklich der Schwingungspunkt wäre.

80 **Die Pendeluhr.** Die wichtigſte Anwendung, die man vom Pendel gemacht hat, iſt die Regulirung der Uhren. In jeder Uhr muß eine beſchleunigende Kraft wirken, um die Bewegung hervorzubringen und zu erhalten. Nun aber iſt aus dem, was über beſchleunigende Kräfte geſagt wurde, klar, daß, wenn der beſchleunigenden Kraft nicht eine andere gleiche Kraft oder ein Bewegungshinderniß entgegenwirkt, die Bewegung nicht gleichförmig bleiben kann, ſondern daß ſie, wie bei einem fallenden Körper, ſchneller und ſchneller wird. Bei unſeren Wanduhren wird die beſchleunigende Kraft durch ein Gewicht hervorgebracht, welches an einer um eine horizontale Axe geſchlungenen Schnur hängt. Wenn das Gewicht durch ſeine Schwere hinabſinkt, ſo wird die Axe mittelſt der Schnur umgedreht und dadurch das ganze Uhrwerk in Bewegung geſetzt. Die Bewegung eines fallenden Gewichtes iſt aber eine beſchleunigte, folglich würde auch die Uhr anfangs langſam, dann ſchneller und ſchneller gehen müſſen, wenn ihr Gang nicht regulirt würde, und dieſe Regulirung wird nun durch das Pendel bewerkſtelligt.

Fig. 163.



Wie das Pendel den Gang einer Uhr reguliren könne, iſt aus Fig 163 erſichtlich. An der Axe, um welche die Schnur mit dem Gewichte geſchlungen iſt, iſt ein gezahntes Rad befeſtigt. Ueber dieſem Rade befindet ſich nun ein Anker ACB, welcher je nach ſeiner Stellung bald auf der einen, bald auf der anderen Seite in die Zähne des Rades eingreift. Dieſer Anker wird durch Schwingungen des Pendels hin- und hergeführt.

Die Figur ſtellt das Pendel gerade in der Lage dar, wo es ſeine äußerſte Stellung links hat. Das Rad, welches durch das Gewicht von der Linken zur Rechten gedreht wird, kann aber nicht vorangehen, weil der Zahn a durch den

Arm *A* des Ankers aufgehalten wird; ſobald aber das Pendel zurückgeht, geht *A* auf die Seite, der Zahn *a* wird nun vorbeigelaſſen; die Bewegung des Rades wird aber doch alsbald wieder gehemmt, weil nun auf der anderen Seite der Arm *B* des Ankers niedergeht und an dieſem dann der Zahn *b* des Rades anſtößt.

Geht nun das Pendel abermals nach der Linken, ſo wird der Zahn *c* durch *A* angehalten. Bei jedem Hin- und Hergange geht alſo das Rad um einen Zahn, bei jedem Pendelſchlage alſo um eine halbe Zahnweite voran. Hat alſo das Rad 30 Zähne, ſo wird ein Zeiger, welcher an der Axe deſſelben befeſtigt iſt, in 60 Sprüngen den ganzen Kreisumfang durchlaufen.

Die Axe des Ankers bildet nun nicht unmittelbar die Schwingungsaxe des Pendels. Dieſes würde, in Zapfen ſich bewegend, zu viel Reibung zu überwinden haben. Das Pendel iſt vielmehr hinter dem Anker mittelſt eines an dem Träger deſſelben eingeklemmten Stückchens einer Uhrfeder aufgehängt. An dem Anker aber iſt eine Gabel *g* befeſtigt, die mittelſt eines Stiftes durch das Pendel geführt wird, wie die Figur zeigt.

Das Pendel hat bei ſeinen Oſcillationen verſchiedene Widerſtände zu überwinden, weshalb es allmälig zur Ruhe kommt, wenn es für ſich allein ſchwingt. Im Uhrwerk wird nun aber dem Pendel ſein Bewegungsverluſt dadurch ſtets erſetzt, daß der Zahn, an der ſchiefen Fläche des austretenden Ankerarms hinſchleifend, dieſem eine kleine Beſchleunigung mittheilt.

Eine ſolche Vorrichtung nennt man eine *Hemmung* oder ein *Echappement*.

Bei Taſchenuhren iſt das Gewicht durch eine geſpannte Stahlfeder, das Pendel aber durch die Balance erſetzt, d. h. durch einen Metallring, welcher von einer vermöge ihrer Elaſticität um ihre Gleichgewichtslage ſchwingenden Spiralfeder hin- und herbewegt wird.

Leistung oder Arbeit einer Kraft. Wenn eine *beſchleunigende*, d. h. eine continuirlich thätige Kraft auf einen Körper wirkt, ſo wird ſie 81
ihm eine Bewegung ertheilen, welche von dem Verhältniß der beſchleunigenden Kraft zu den *Widerſtänden* abhängt, welche ſie zu überwinden hat.

Die *Arbeit*, die *Leiſtung*, welche die Kraft verrichtet, indem ſie den Körper eine Zeit lang nach einer beſtimmten Richtung in Bewegung erhält, beruht eben auf die *Ueberwindung* dieſer Widerſtände.

Dieſe Widerſtände ſind von zweierlei Art:

1. *Beſchleunigungswiderſtände.*
2. *Bewegungswiderſtände.*

Die *Beſchleunigungswiderſtände* beſtehen lediglich in der *Trägheit*, im *Beharrungsvermögen* der Körper. Wenn die auf einen Körper wirkende Kraft *nur* die Trägheit deſſelben zu überwinden hat, ſo ſetzt ſie ihn jedenfalls in Bewegung, wie klein auch die beſchleunigende Kraft und wie groß auch die Maſſe des Körpers ſein mag; ſie ertheilt ihm eine *beſchleunigte* Bewe-

gung und die Arbeit, welche die Kraft in diesem Falle hervorbringt, besteht in der stetigen Vermehrung der Geschwindigkeit des Körpers.

Wenn z. B. ein Stein 240 Fuß hoch frei herabgefallen ist, so besteht die Arbeit, welche die Schwerkraft während des Falles verrichtete, darin, daß sie ihm eine Geschwindigkeit von 120′ ertheilt hat. (Siehe die Tabelle auf S. 125.)

Die Bewegungswiderstände, welche gewöhnlich allein als Widerstände bezeichnet werden, sind von dem Widerstand der Trägheit wesentlich verschieden. Sie wirken als Gegendruck gegen die beschleunigende Kraft, sei es nun, daß derselbe von entgegengesetzt gerichteten beschleunigenden Kräften herrührt, oder daß er, wie bei der Reibung, erst in Thätigkeit gesetzt wird, wenn der Körper in Bewegung ist oder in Bewegung gesetzt werden soll.

Wenn eine Last von 1 Centner vertical in die Höhe gehoben werden soll, so ist der Widerstand der Schwere zu überwinden, welche in diesem Falle einem Druck von 100 Pfunden gleich ist.

Wenn eine Last von 1 Centner auf horizontaler hölzerner Unterlage fortgeschleift werden soll, so hat die in horizontaler Richtung wirkende beschleunigende Kraft einen Gegendruck zu überwinden, welcher in diesem Fall ungefähr gleich dem Drucke eines Gewichts von 30 Pfunden ist.

Bei der Ueberwindung der Bewegungswiderstände besteht die Arbeit der beschleunigenden Kraft darin, daß sie den Gegendruck gleichsam auf eine gewisse Strecke zurückschiebt.

Die Bewegungswiderstände sind ein absolutes Hinderniß der Bewegung, so lange die beschleunigende Kraft ihnen nicht wenigstens das Gleichgewicht hält. Eine vertical nach oben gerichtete, direct angreifende Kraft von 50 Pfund genügt nicht, um eine Last von 1 Centner zu heben, und eine in horizontaler Richtung wirkende Kraft von 10 Pfund genügt nicht, um eine Last von 1 Centner fortzuschieben, welche auf horizontaler hölzerner Unterlage ruht.

Wenn eine beschleunigende Kraft den ihr entgegenwirkenden Bewegungswiderständen gerade das Gleichgewicht hält, so kann zwar noch eine Bewegung stattfinden, sie ist aber alsdann eine gleichförmige.

Auf der einen Seite der Rolle der Fallmaschine (S. 125) hänge das Gewicht m, auf der anderen $m + r$, d. h. außer m noch das Gewicht r, welches gerade hinreicht, der Reibung an der Rolle das Gleichgewicht zu halten. Durch Auflegung eines weiteren Uebergewichts auf der Seite von $m + r$ wird nun eine beschleunigte Bewegung eingeleitet, welche von dem Augenblicke an, wo das Uebergewicht weggenommen wird, in eine gleichförmige übergeht; jetzt findet ein Gleichgewichtszustand Statt, die Arbeit des niedersinkenden Gewichtes $m + r$ auf der einen Seite besteht nun darin, das Gewicht m auf der anderen Seite zu heben und die Axenreibung zu überwinden.

Wenn eine Locomotive auf ebener Eisenbahn mit gleichmäßiger Geschwindigkeit einen Wagenzug fortführt, so besteht die Arbeit der Kraft in der Ueberwindung der Luft- und Reibungswiderstände, welche an allen einzelnen Wagen stattfinden.

Wenn ein Arbeiter, an einem Haspel arbeitend, einen Stein hebt, so be-

ſteht ſeine Arbeit in der Ueberwindung der Schwere des Steins und des Reibungswiderſtandes an der Axe der Welle.

Beim Zermahlen des Getreides beſteht die Arbeit in der Ueberwindung der Cohäſionskraft deſſelben.

Bei der Leiſtung einer Kraft kommen zweierlei Dinge in Betracht: 1) die Größe des Widerſtandes, welcher überwunden werden ſoll, und 2) die Länge des Weges, auf welchem der Widerſtand in jeder Zeiteinheit überwunden werden muß. Bei der Hebung von Laſten kommt es alſo darauf an, wie groß das Gewicht der zu hebenden Maſſe iſt und wie hoch ſie gehoben werden ſoll. Um die Kraft zu kennen, welche nöthig iſt, um ein Fuhrwerk auf ebener Straße fortzuziehen, muß man die Größe des Reibungswiderſtandes und die Länge des Weges kennen, welche in jeder Secunde zurückzulegen iſt.

Bezeichnet man mit A die Leiſtung oder Arbeit einer Kraft, ſo iſt ſie gleich dem Product, welches man erhält, wenn man die Größe der conſtant wirkenden Kraft K, welche dem Widerſtande das Gleichgewicht hält, mit dem in der Zeiteinheit zurückgelegten Weg S multiplicirt, es iſt alſo $A = KS$.

Um die verſchiedenen mechaniſchen Leiſtungen der Kräfte mit einander vergleichen zu können, muß man ſie auf eine beſtimmte Einheit beziehen; die zu überwindenden Widerſtände vergleicht man deshalb mit der Hebung von Laſten und nimmt als Einheit der Kraftwirkung die verticale Hebung der Gewichtseinheit um die Längeneinheit.

Legt man das neufranzöſiſche Maßſyſtem zu Grunde, ſo iſt die Einheit der mechaniſchen Kraftwirkung das Kilogrammometer, d. h. die Hebung einer Laſt von 1 Kilogramm auf die Höhe von 1 Meter. Legt man Fuß und Pfund als Längen- und Gewichtseinheit zu Grunde, ſo iſt das Fußpfund die Einheit, nach welcher man die Leiſtung einer Kraft ſchätzt.

Ein Mann z. B., welcher eine Laſt von 1 Centner auf eine Höhe von 70 Fuß hinaufträgt, hat eine mechaniſche Arbeit verrichtet, welche gleich $70 \times 100 = 7000$ Fußpfund iſt.

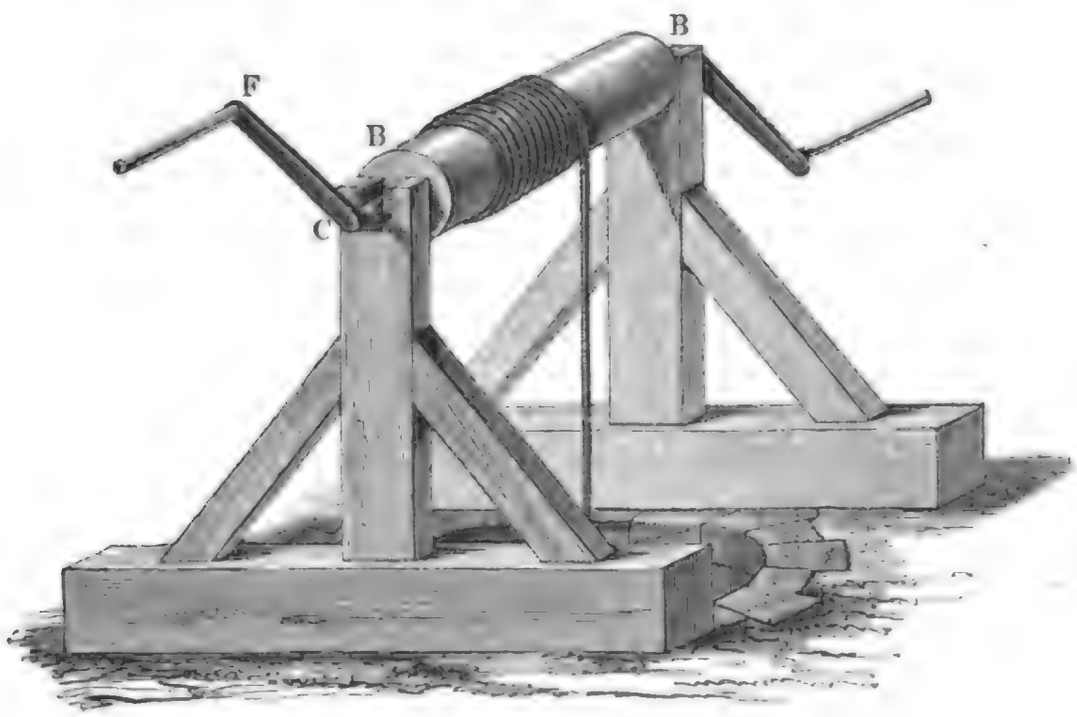
1 Kilogrammometer iſt gleich 6,8 Fußpfund rheinländiſch.

Im Durchſchnitt kann ein Pferd eine Arbeit verrichten, welche gleich 75 Kilogrammometer per Secunde iſt. Nach engliſchem Maß iſt eine ſolche Pferdekraft 542, nach preußiſchem Maß 510 Fußpfund in der Secunde. Wenn man ſagt, eine Dampfmaſchine, ein Waſſerrad oder irgend ein anderer Motor übe eine Kraft von 6 Pferdekräften aus, ſo heißt das, er verrichte per Secunde eine Arbeit von 6×75 Kilogrammometer, d. h. ſämmtliche Widerſtände, welche bei Umdrehung der Maſchinenaxe überwunden werden müſſen, ſind gerade ſo groß, als ob durch die Umdrehung dieſer Axe in jeder Secunde eine Laſt von 6×75 Kilogramm 1 Meter hoch gehoben werden ſollte.

Der Nutzeffect einer Kraft, welche an einer mechaniſchen Potenz, etwa an einem Haspel, einem Flaſchenzuge, einer Schraube wirkt, wird durch eine ſolche Maſchine in keinerlei Weiſe vergrößert, d. h. die mechaniſche Arbeit, welche man mit Hülfe der Maſchinen vollbringt, iſt durchaus nicht größer als diejenige, welche die an der Maſchine wirkende Kraft unmittelbar verrichtet.

An einem Seile z. B., welches um eine einfache Rolle geſchlungen iſt, kann ein Mann bequem eine Laſt von 25 Pfunden um $2^1/_2$ Fuß in der Secunde heben, alſo eine mechaniſche Arbeit von 62,5 Fußpfund per Secunde verrichten. Hängt aber die Laſt an einem Wellbaume, Fig. 164, deſſen Ra-

Fig. 164.



dius viermal kleiner iſt, als der Hebelarm FC, an welchen der Arbeiter angreift, ſo würde man zwar mit derſelben Kraftanſtrengung eine vierfache Laſt, jedoch auch mit viermal geringerer Geſchwindigkeit heben können; drückt der Arbeiter an dem Hebel mit einer Kraft von 25 Pfund und legt er, mit der Hand dieſen Druck ausübend, in jeder Secunde einen Weg von 2,5 Fuß zurück, verrichtet er alſo eine mechaniſche Arbeit von 62,5 Fußpfund, ſo wird dadurch der 100 Pfund ſchwere Stein in jeder Secunde um $\frac{2,5}{4}$, alſo 0,625 Fuß hoch gehoben, der Nutzeffect iſt alſo $100 \times 0,625 = 62,5$ Fußpfund, mithin gleich der mechaniſchen Arbeit, welche die Kraft unmittelbar verrichtet. Unterſuchen wir die Wirkungsweiſe anderer Maſchinen, der Schraube, des Flaſchenzuges, der verſchiedenen Räderwerke, ſo werden wir ſtets zu demſelben Reſultate gelangen, daß, *was man auf der einen Seite an Kraft gewinnt, auf der anderen Seite an Geſchwindigkeit verloren geht*, daß alſo die mechaniſche Arbeit durch Maſchinen durchaus nicht vermehrt wird.

Der Nutzeffect einer Maſchine kann alſo *höchſtens* der mechaniſchen Arbeit gleich ſein, welche die Kraft unmittelbar hervorzubringen im Stande iſt.

In der Praxis wird aber ein ſolcher Nutzeffect nie erreicht, weil immer ein Theil der Kraft zur Ueberwindung von Reibungswiderſtänden in der Maſchine verbraucht wird, alſo für den Nutzeffect verloren geht. Die Maſchinen dienen daher nur, um die Art der Bewegung zu verwandeln, nicht aber, um den Nutzeffect zu vergrößern.

Lebendige Kraft. Wenn ein Körper in Bewegung ist, so kommt er 82
nur dadurch zur Ruhe, daß äußere Kräfte dieser Bewegung einen Widerstand leisten; ein bewegter Körper kann also gewissermaßen als ein Kraftmagazin betrachtet werden, denn indem allmälig seine Geschwindigkeit abnimmt, überwindet er bald mehr bald weniger Bewegungswiderstände, je nachdem seine Masse und seine Geschwindigkeit größer oder kleiner war.

Wenn ein bewegter Körper einen gleichmäßig wirkenden Bewegungswiderstand zu überwinden hat, wird er, ehe er zur Ruhe kommt, noch einen um so größeren Weg zurücklegen, je kleiner der zu überwindende Widerstand ist. Um nun die Wirkungsfähigkeit eines bewegten Körpers zu messen, muß die Größe des Widerstandes durch irgend eine beliebige Einheit gemessen werden; für diese Einheit nimmt man gewöhnlich den Widerstand, welchen die Schwere dem verticalen Aufsteigen des Körpers entgegensetzt.

Wenn ein Körper von einer gewissen Höhe herabgefallen ist, so erlangt er dadurch eine solche Geschwindigkeit, daß, wenn er mit dieser Geschwindigkeit vertical aufwärts geworfen würde, er bis zu derselben Höhe stiege, von welcher er herabgefallen ist.

Darauf beruht ja das Schwingen des Pendels; in der Gleichgewichtslage kommt es mit einer solchen Geschwindigkeit an, daß es auf der anderen Seite eben so hoch steigt, als es zuvor herabgefallen war.

Gesetzt, eine Kugel von 6 Pfund sei 135 Fuß hoch frei herabgefallen, so hat sie eine solche Geschwindigkeit erlangt, daß sie vermöge derselben wieder 135 Fuß steigen könnte; sie kann also einen mechanischen Effect ausüben, welcher der Hebung einer Last von 6 Pfund auf die Höhe von 135 Fuß gleich ist.

Den Fallraum von 135 Fuß durchläuft ein frei fallender Körper in 3 Secunden; die Geschwindigkeit, die er in dieser Zeit erlangt, ist 90 Fuß. Wenn nun die Kugel von 6 Pfund überhaupt eine Geschwindigkeit von 90 Fuß hat, gleichviel auf welche Weise sie dieselbe erlangte, so kann sie vermöge dieser Geschwindigkeit einen mechanischen Effect ausüben, welcher der Hebung von 6 Pfund auf die Höhe von 135 Fuß gleich ist.

Man nennt *lebendige Kraft* eines in Bewegung begriffenen Körpers *das Product seiner Masse in die Höhe, zu welcher er, vermöge seiner Geschwindigkeit, vertical aufsteigen würde.*

In dem eben besprochenen Beispiel ist also $6 \times 135 = 810$ Fußpfund die lebendige Kraft der 6 pfündigen Kugel, welche 90 Fuß Geschwindigkeit hat.

Nach den Beziehungen zwischen Fallraum und Geschwindigkeit, welche wir oben (S. 127) kennen lernten, ist

$$s = \frac{v^2}{2g},$$

wenn s den Fallraum, v die zugehörige Geschwindigkeit und g die Endgeschwindigkeit der ersten Fallsecunde bezeichnet; wenn ein Körper von der Masse M die Geschwindigkeit v hat, so ist demnach seine lebendige Kraft L

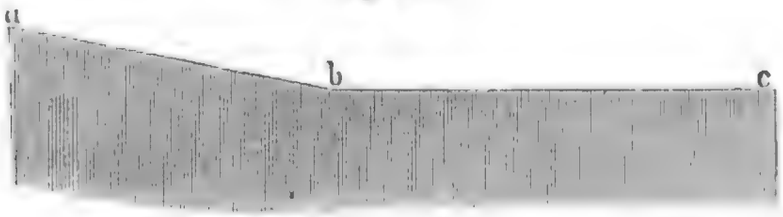
$$L = Ms = M\frac{v^2}{2g}.$$

Die lebendige Kraft eines Körpers ist dem Quadrat seiner Geschwindigkeit proportional.

Weiß man, wie hoch ein Körper, der eine bestimmte Geschwindigkeit hat, vermöge derselben vertical aufsteigen würde, so kann man leicht berechnen, wie weit er sich noch fortbewegen wird, wenn ein größerer oder ein kleinerer Widerstand als der seiner Schwerkraft zu überwinden ist; in demselben Verhältniß, in welchem der Widerstand geringer ist, wird der noch zu durchlaufende Weg größer.

Eine Eisenbahn bilde z. B. von a bis b, Fig. 165, eine schiefe Ebene, von b bis c aber laufe sie horizontal fort. Ein einzelner Wagen komme auf

Fig. 165.



der schiefen Ebene herabrollend bei b mit einer Geschwindigkeit von 30′ in der Secunde an, so ist leicht zu berechnen, wie weit er noch auf der horizontalen Bahn fortrollen wird, ehe er zur Ruhe kommt, wenn die Reibung $^1/_{300}$ der Last ist. Nach der Formel $s = \frac{v^2}{2g}$ ist die Höhe, zu welcher er vermöge der Geschwindigkeit von 30′ vertical aufsteigen würde, $s = \frac{900}{60} = 15'$; der Widerstand der Reibung, welcher beim Fortrollen auf der Bahn überwunden werden muß, ist aber 300mal geringer als derjenige, welchen die Schwere dem verticalen Aufsteigen entgegensetzt, der Wagen wird also noch $15' \times 300 = 4500$ fortlaufen, ehe er zur Ruhe kommt.

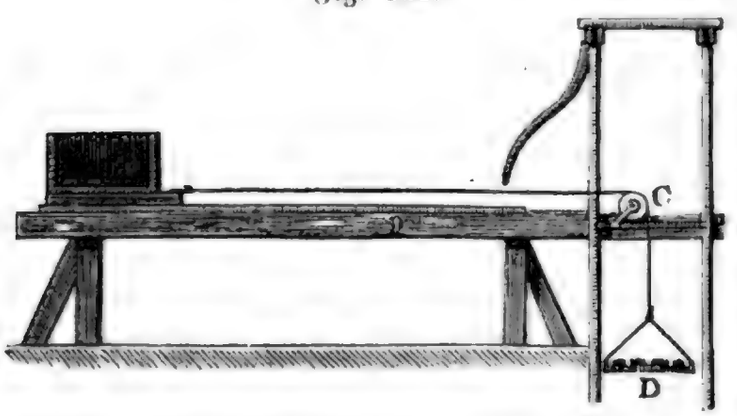
83 **Hindernisse der Bewegung.** Ein schon mehrfach besprochener Widerstand, welcher fast auf alle Bewegungen einen bedeutenden Einfluß ausübt, ist die Reibung. Um eine nur etwas große Last auf einer horizontalen Ebene fortzuschleifen, ist ein bedeutender Kraftaufwand nöthig, welcher lediglich von den Reibungswiderständen herrührt. Wären die Reibungswiderstände nicht vorhanden, so könnte die kleinste Kraft die größte Last auf horizontaler Ebene in Bewegung setzen, und einmal angestoßen, müßte sich die Last mit gleichförmiger Geschwindigkeit auf der horizontalen Ebene fortbewegen.

Die Reibung rührt unstreitig daher, daß die Erhabenheiten einer jeden der über einander hingleitenden Flächen in die Vertiefungen der anderen eingreifen. Wenn nun Bewegung stattfinden soll, so müssen entweder die hervorragenden Theilchen von der Masse ihres Körpers abgerissen, oder der eine Körper muß fortwährend über die Unebenheiten des anderen hinweggehoben werden. Ersteres findet Statt, wenn die reibenden Flächen sehr rauh, Letzteres, wenn sie mehr geglättet sind. Je glatter die reibenden Flächen sind, desto mehr Einfluß

gewinnt die Adhäſion, welche namentlich bei Anwendung von flüſſiger und halbflüſſiger Schmiere von Bedeutung wird.

Um Verſuche über gleitende Reibung anzuſtellen, wandte Coulomb den Fig. 166 dargeſtellten Apparat an. Ein Käſtchen *A*, welches man nach Belieben mit Gewichten belaſten kann, ruht auf zwei horizontalen Schienen, welche neben einander gelegt ſind. Eine an dem Käſtchen befeſtigte Schnur geht über ein Rolle *C* und trägt an ihrem freien Ende eine Wagſchale *D*, auf welche ſo lange Gewichte zugelegt werden, bis dadurch das Käſtchen *A* in Bewegung geſetzt wird.

Fig. 166.



Nehmen wir an, die untere Fläche des Käſtchens ſei durch eine eiſerne Platte gebildet und die Schienen ſeien gleichfalls von Eiſen; ferner betrage das Gewicht des Käſtchens *A* ſammt Allem, was darin liegt, 25 Pfund, ſo wird die Bewegung eintreten, ſobald das auf die Wagſchale *D* aufgelegte Gewicht ſammt dem Gewicht der Wagſchale 7 Pfund beträgt. Die zur Ueberwindung der Reibung hier anzuwendende Kraft beträgt alſo in dieſem Falle $^7/_{25}$ oder 28 Procent der Laſt.

Wäre das Gewicht des Käſtchens *A* 2mal, 3mal ſo groß geweſen, ſo hätte an der Schnur auch eine doppelte, dreifache Kraft ziehen müſſen, um die Reibung zu überwinden, und ſo ergiebt ſich:

1) Die Reibung iſt dem Drucke proportional, mit welchem die Flächen, welche übereinander hergleiten ſollen, auf einander gedrückt werden.

Hätte man, ohne ſonſt etwas zu ändern, die eiſernen Schienen breiter oder ſchmäler gemacht, ſo würde man doch immer zu demſelben Reſultate gekommen ſein, d. h. zur Ueberwindung der Reibung würden immer 28 Procent der Laſt nöthig geweſen ſein, und ſo ergiebt ſich:

2) Die Reibung iſt unabhängig von der Ausdehnung der reibenden Flächen.

Die Zahl, welche angiebt, der wievielte Theil der Laſt zur Ueberwindung der Reibung verwandt werden muß, wird der Reibungscoefficient genannt. Für Eiſen auf Eiſen iſt dieſer Coefficient, wie wir geſehen haben, 0,28 oder genauer 0,277; der Reibungscoefficient ändert ſich jedoch mit der Natur der reibenden Flächen. Die folgende Tabelle enthält einige der in der Praxis wichtigſten Reibungscoefficienten:

Eiſen auf Eiſen	0,277
Eiſen auf Meſſing . . .	0,263

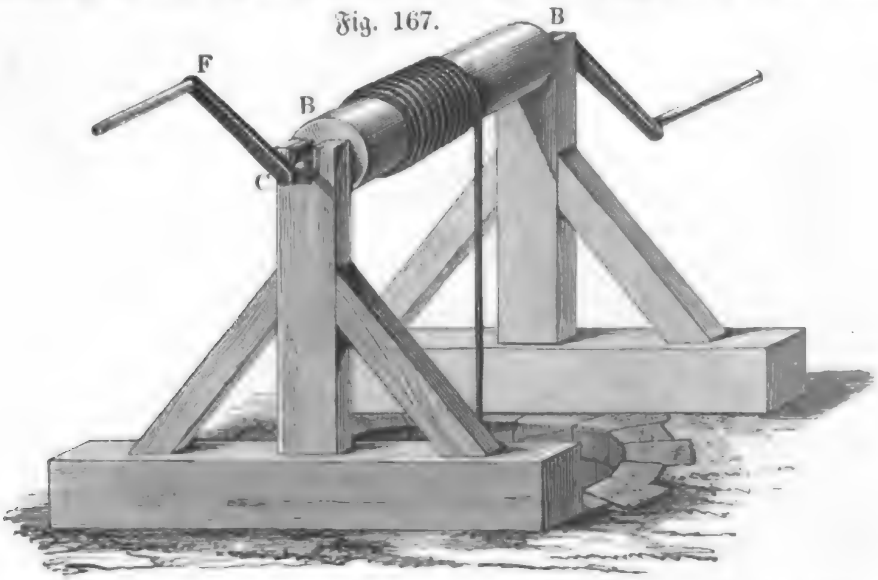
Eiſen auf Kupfer . . .	0,170
Eichen auf Eichen . . .	0,418 =
	0,273 +
Eichen auf Kiefern . . .	0,667
Kiefern auf Kiefern . . .	0,562.

Durch eine zweckmäßige Schmiere kann der Reibungswiderſtand noch verringert werden. Für Metalle iſt Oel, für Holz hingegen Talg das beſte Schmiermittel.

Bei Hölzern iſt es nicht gleichgültig, wie die Faſern laufen; die Reibung iſt nämlich bei gekreuzten Faſern (+) viel geringer als bei parallelen (=).

Gleitende Reibung findet unter Anderem auch überall da Statt, wo Zapfen in ihren Pfannen gedreht werden. Unterſuchen wir z. B. den Effect der Reibung an dem ſchon öfter betrachteten Haspel (Fig. 167). Das Gewicht

Fig. 167.



des Wellbaumes ſelbſt mit Allem, was daran befeſtigt iſt, betrage 75 Pfd., der zu hebende Stein wiege 100 Pfd., alſo die am Hebel F wirkende Kraft 25 Pfd., ſo iſt der Geſammtdruck, welchen die Zapfenlager auszuhalten haben, $75 + 100 + 25 = 200$ Pfd. Wenn die Zapfenlager von Meſſing, die Zapfen aber von Eiſen ſind, ſo beträgt der Reibungswiderſtand, welcher am Umfange der Zapfen wirkt, 26,3 Proc., der Effect der Reibung iſt alſo derſelbe, als ob man ſtatt ihrer um den Zapfen eine Schnur in derſelben Richtung geſchlungen hätte, wie das Seil, welches die Laſt trägt, und an dieſer Schnur ein Gewicht $200 \times 0{,}263$ oder 52,6 Pfd. angehängt hätte; oder als wenn die am Umfange des Wellbaums wirkende Laſt um $\frac{52{,}6}{5} = 10{,}5$ Pfd. größer geweſen wäre, vorausgeſetzt nämlich, daß der Durchmeſſer des Zapfens $^1/_5$ vom Durchmeſſer des Wellbaumes iſt. Es werden alſo bei dieſem Haspel circa 10 Procent der angewandten Kraft für die Ueberwindung der Reibungswiderſtände verzehrt.

Wenn ein Körper, welcher bis dahin ruhig auf ſeiner Unterlage lag, in Bewegung geſetzt werden ſoll, ſo iſt die dabei zu überwindende Reibung etwas

Digitized by Google

größer als die Reibung, welche überwunden werden muß, wenn die Bewegung bereits eingeleitet ist.

Von der eben betrachteten gleitenden Reibung ist nun die wälzende Reibung zu unterscheiden, welche da stattfindet, wo ein runder Körper, etwa eine Kugel, ein Cylinder, über die Unterlage hinwegrollt. Es kommt dabei die Unterlage stets mit neuen Punkten des rollenden Körpers in Berührung. Der hierbei entstehende Widerstand ist bei Weitem geringer als der Widerstand der gleitenden Reibung.

Bei einem Wagenrade findet wälzende Reibung am Umfange des Rades, gleitende Reibung aber an den Axen Statt. Beide Widerstände werden um so geringer, je größer der Durchmesser der Räder ist.

Nutzen und Anwendung der Reibung. Wir haben bisher die 84
Reibung bloß als Bewegungshinderniß betrachtet, welches den Nutzeffect der Maschinen vermindert; die Reibung ist uns aber auch in vielen Fällen von großem Nutzen, und man macht im praktischen Leben vielfach Anwendung von derselben.

Ohne Reibung könnten wir weder gehen noch stehen, wir könnten ohne dieselbe keinen Gegenstand fest in der Hand halten, und ohne Reibung würde kein Nagel, keine Schraube halten.

Daß die Bewegung eines Rades mittelst einer Schnur oder eines Riemens auf ein anderes übertragen werden kann, wie es z. B. bei der Drehbank stattfindet, beruht nur auf der Reibung.

Nur die Reibung zwischen den Hufen des Pferdes und dem Boden bietet ihm den Stützpunkt, dessen es bedarf, um die Last des Wagens nachzuziehen, an welchen es angespannt ist. Dieselbe Function hat die Reibung zwischen den Schienen und dem Umfang der Treibräder einer Locomotive (die Räder, welche durch die Dampfmaschine umgedreht werden). Ohne diese Reibung würde die Kraft der Dampfmaschine nur eine rasche Umdrehung dieser Räder ohne Fortrollen derselben bewirken können. — Wenn die Locomotive einen Wagenzug fortziehen soll, so muß die gleitende Reibung, welche überwunden werden müßte, wenn die Locomotivräder ohne gleichzeitiges Fortrollen, also bei stehenbleibender Locomotive umgedreht würden, größer sein, als die Summe aller Widerstände, welche durch das Fortziehen aller angehängten Wagen zu überwinden sind. Ist die angehängte Last zu groß, so findet in der That ein rasches Umdrehen der Locomotivräder ohne gleichzeitiges Fortrollen des Zuges Statt, wie man dies öfters bemerken kann, wenn sich große Güterzüge eben in Bewegung setzen.

Aus dieser Betrachtung geht auch hervor, daß die Last, welche eine Locomotive fortzuziehen im Stande ist, nicht allein von der Kraft ihrer Dampfmaschine, sondern auch von ihrem Gewichte abhängt. Nehmen wir an, zwei Locomotiven hätten gleich starke Maschinen, die eine sei aber schwerer als die andere, so wird man mit der schwereren eine größere Last fortziehen können.

Achtes Capitel.

Hydraulik oder die Bewegungsgesetze der Flüssigkeiten.

---

85 **Ausflussgeschwindigkeit.** Wenn man in die Seitenwand oder in den Boden eines mit einer Flüssigkeit gefüllten, oben offenen Gefäßes eine Oeffnung macht, welche im Vergleich mit den Dimensionen des Gefäßes klein ist, so strömt die Flüssigkeit mit einer Geschwindigkeit aus, welche um so größer ist, je tiefer sich die Oeffnung unter dem Spiegel der Flüssigkeit befindet. Der Zusammenhang zwischen Ausflußgeschwindigkeit und Druckhöhe läßt sich auf folgende Weise ausdrücken: Die Ausflußgeschwindigkeit ist gerade so groß wie die Geschwindigkeit, welche ein freifallender Körper erlangen würde, wenn er von dem Spiegel der Flüssigkeit bis zur Ausflußöffnung herabfiele.

Dieser Satz ist unter dem Namen des Toricelli'schen Theorems bekannt. Er läßt sich auf folgende Weise ableiten.

Wenn die Flüssigkeitsschicht $abcd$, Fig 168, welche sich unmittelbar über der Oeffnung ab befindet, frei herabfiele, ohne durch die über ihr lastende Flüssigkeit beschleunigt zu sein, so würde sie die Oeffnung mit derjenigen Geschwindigkeit verlassen, welche der Höhe ac entspricht, die wir mit h bezeichnen wollen. Diese Geschwindigkeit ist $v = \sqrt{2gh}$ (Seite 127). Nun aber ist die ausströmende Schicht nicht bloß durch ihre eigene Schwere beschleunigt, sondern durch die Schwere der ganzen auf ihr lastenden Flüssigkeit. Die beschleunigende Kraft der Schwere g verhält sich demnach zur beschleunigenden Kraft g', welche die flüssigen Theilchen wirklich austreibt, wie ac zu af oder wie h zu s, wenn die Druckhöhe mit s bezeichnet wird, d. h.

Fig. 168.

$$h : s = g : g',$$

und also ist die auf die ausfließende flüssige Schicht wirkende beschleunigende Kraft $g' = \frac{g}{h} s$. Wenn aber die beschleunigende Kraft, welche auf die ausfließende Schicht wirkt, nicht g, sondern g' ist, so ist auch die Ausflußgeschwindigkeit $v' = \sqrt{2g'h}$; und wenn wir in diesen Werth von v' den eben abge-

leiteten Werth von g' setzen, so erhalten wir für die Ausflußgeschwindigkeit:

$$v' = \sqrt{2gs}.$$

Dies ist aber dieselbe Geschwindigkeit, welche ein Körper erlangt, wenn er eine Höhe s frei durchfällt.

Aus diesem Satze folgt unmittelbar:

1) Die Ausflußgeschwindigkeit hängt nur von der Tiefe der Oeffnung unter dem Niveau, aber nicht von der Natur der Flüssigkeit ab. Bei gleichen Druckhöhen muß also Wasser und Quecksilber gleich schnell ausfließen. Jede Quecksilberschicht wird zwar durch einen Druck ausgetrieben, welcher 13,6mal so groß ist als beim Wasser, dagegen ist aber auch die Masse eines jeden Quecksilbertheilchens, welches ausfließt, 13,6mal größer als die eines gleich großen Wassertheilchens.

2) Die Ausflußgeschwindigkeiten verhalten sich wie die Quadratwurzeln der Druckhöhen. Aus einer Oeffnung, welche 100 Centimeter unter dem Wasserspiegel liegt, muß also das Wasser mit 10mal größerer Schnelligkeit ausfließen als aus einer anderen, welche nur 1 Centimeter unter dem Niveau liegt.

Versuche über Ausflussgeschwindigkeit. 86 Um Versuche über Ausflußgeschwindigkeit anzustellen, kann man den Apparat Fig. 169 anwenden.

Fig. 169.

An einer großen Glasflasche mit verticalen Wänden ist unten seitlich ein Loch gemacht und auf dieses eine Messingeinfassung mit einem kurzen Messingrohre r aufgekittet. Das Röhrenstück r dient zur Aufnahme der Ausflußöffnungen.

Damit der Ausfluß längere Zeit unter unverändertem Druck stattfinde, wird der Hals der Flasche mittelst eines Korkes verschlossen, durch welchen eine oben und unten offene Glasröhre hindurchgeht, deren untere Oeffnung a sich unter dem Wasserspiegel befindet. In dem Maße nun, als unten Wasser ausfließt, dringt die Luft durch die Glasröhre ba ein, indem fortwährend Luftblasen von a in den oberen Theil der Flasche aufsteigen; auf diese Weise ist aber die ganze Wassermasse von a aufwärts durch den Luftdruck äqui-

Digitized by Google

librirt, so daß nur die Höhe der Flüssigkeitssäule von a bis zur Ausflußöffnung herunter die Ausflußgeschwindigkeit bedingt.

Es ist nun auf der Flasche eine Theilung angebracht, deren Nullpunkt in der Höhe der Ausflußöffnung liegt, während die folgenden Theilstriche 1, 2, 3 u. s. w. Decimeter über demselben angebracht sind (man kann natürlich für diese Theilung auch jede andere Längeneinheit anwenden). Der Ausfluß wird nun mit einer Geschwindigkeit stattfinden, welche einer Druckhöhe von 1, 2, 3 oder 4 Decimetern entspricht, wenn man die Röhre so stellt, daß ihr unteres Ende sich in der Höhe des Theilstriches 1, 2, 3 oder 4 befindet.

Um einen Wasserstrahl vertical in die Höhe springen zu lassen, kann man ein gebogenes kurzes Glasröhrchen mittelst eines Korkes in r einsetzen, wie es die Figur zeigt. Hat man nun die Glasröhre ab so hoch in die Höhe gezogen, daß ihr unteres Ende sich in der Höhe des Theilstriches 4 befindet, so soll nach dem Gesetze des vorigen Paragraphen die Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser aus der Oeffnung o hervorspringt, dieselbe sein, welche ein Körper erlangt, wenn er von der Höhe des Striches d bis o herabfällt; man sollte also erwarten, daß der Wasserstrahl auch bis zur Höhe d aufsteigen würde, was jedoch nicht der Fall ist.

Daß der aufsteigende Wasserstrahl die theoretische Höhe nicht erreicht, daran sind jedoch nur die Bewegungshindernisse Schuld; den wesentlichsten Einfluß übt das vom Gipfel wieder herabfallende Wasser aus, indem es das freie Aufsteigen des nachfolgenden Wassers hindert; deshalb steigt auch der Strahl augenblicklich höher, sobald man die Ausflußöffnung so wendet, daß der ausfließende Strahl einen ganz kleinen Winkel mit der Verticalen macht, daß also das Wasser neben dem aufsteigenden Strahle herabfällt. In diesem Falle kann unter günstigen Umständen, d. h. wenn möglichst wenig Reibung stattfindet, der Strahl eine Höhe erreichen, welche 0,9 der Druckhöhe ist.

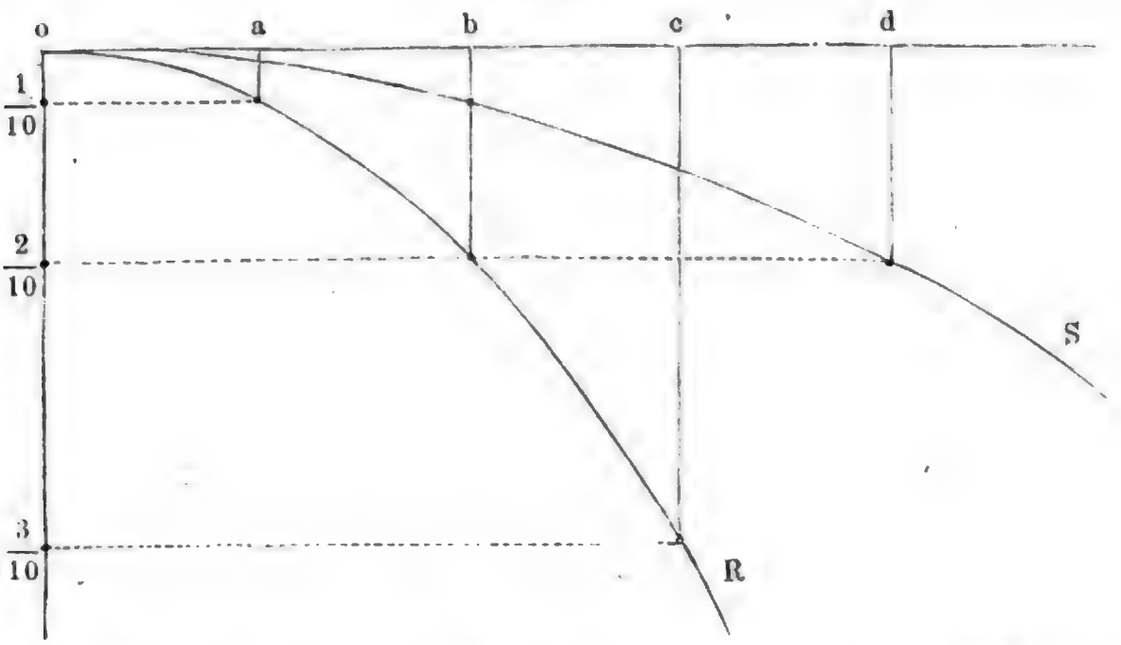
Um einen horizontal ausfließenden Wasserstrahl zu erhalten, wird an das Röhrchen r eine dünne Messingplatte angeschraubt, in deren Mitte sich eine kreisförmige Oeffnung von gemessenem Durchmesser befindet.

Daß der horizontal ausströmende Wasserstrahl wirklich die Geschwindigkeit hat, welche ihm nach dem Toricelli'schen Gesetze zukommt, geht daraus hervor, daß er genau die Parabel beschreibt, welche dieser Ausflußgeschwindigkeit entspricht.

In Fig. 170 ist die Parabel des horizontal ausfließenden Wasserstrahls für eine Druckhöhe von 1 und für eine solche von 4 Decimeter in $^1/_{10}$ der natürlichen Größe dargestellt, wie sie die Construction für die nach dem Toricelli'schen Gesetze berechnete Ausflußgeschwindigkeit ergiebt. Führt man diese Figuren in der 10fachen Größe aus, so kann man die gezeichnete Curve hinter den unter den angegebenen Bedingungen ausfließenden Wasserstrahl halten und sich so überzeugen, daß derselbe wirklich die vorgeschriebene Bahn beschreibt, wodurch dann das im vorigen Paragraphen verhandelte Gesetz bestätigt ist.

Für eine Druckhöhe von 0,1 Meter ist die Ausflußgeschwindigkeit $\sqrt{2 . 9{,}8 . 0{,}1} = 1{,}4^{m}$, für die 4fache Druckhöhe die Ausflußgeschwindigkeit 2,8 Meter.

Fig. 170.



Ausflussmenge. Die Wassermenge, welche aus einer Oeffnung in 87
einer gegebenen Zeit hervorspringt, hängt offenbar von der Größe der Oeffnung und der Ausflußgeschwindigkeit ab. Wenn alle Wassertheilchen die Oeffnung mit der Geschwindigkeit passirten, welche nach dem Toricelli'schen Theorem der Druckhöhe entspricht, so würde die in einer Secunde ausfließende Wassermenge einen Cylinder bilden, dessen Basis gleich der Oeffnung und dessen Höhe gleich dem Wege ist, den ein Wassertheilchen vermöge seiner Geschwindigkeit in einer Secunde zurücklegt. Dieser Weg ist aber die Ausflußgeschwindigkeit selbst, also $\sqrt{2gs}$, und wenn wir nun den Flächeninhalt der Oeffnung mit F bezeichnen, so ist die Ausflußmenge in einer Secunde

$$M = F\sqrt{2gs} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

Nehmen wir an, die Oeffnung, welche bei r, Figur 167, angeschraubt worden ist, sei kreisförmig; der Durchmesser des Kreises sei 5 Millimeter, so ist der Flächeninhalt der Oeffnung $F = 19{,}625$ Quadratmillimeter oder 0,19625 Quadratcentimeter; wenn die Druckhöhe 10 Centimeter ist, so ist, wie wir schon berechnet haben, die Ausflußgeschwindigkeit 1,4 Meter = 140 Centimeter, also

$$M = 0{,}19625 \times 140 = 27{,}475 \text{ Cubikcentimeter.}$$

In einer Minute müßten also 1648,5 Cubikcentimeter ausfließen.

Eine gleich große Oeffnung, welche 40 Centimeter unter dem Wasserspiegel liegt, müßte in einer Minute doppelt so viel, also 3297 Cubikcentimeter Wasser geben.

Die nach Gleichung 1) berechnete Ausflußmenge wollen wir die theoretische nennen.

Stellt man den Versuch an, so erhält man für die Druckhöhe von 1 Decimeter nur ungefähr 1055, für die Druckhöhe von 4 Decimetern nur 2110 Cubikcentimeter Wasser.

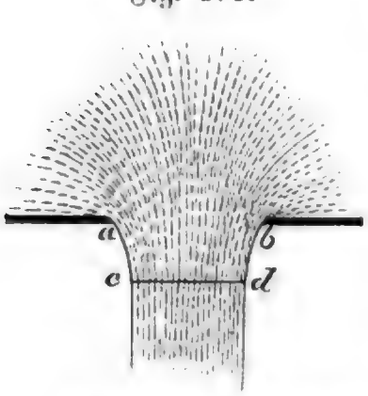
Diese Differenz zwischen der sogenannten theoretischen und der beobachteten Ausflußmenge beweist unwiderleglich, daß nicht alle Wassertheilchen die Oeffnung mit der Geschwindigkeit passiren, welche der Druckhöhe entspricht. In der That haben im Querschnitte der Oeffnung nur die in der Mitte sich befindenden Wasserfäden diese Geschwindigkeit, während sie für die mehr nach dem Rande der Oeffnung hin ausfließenden geringer ist, wie dies auch nothwendig nach der folgenden Betrachtung sein muß.

In einem weiten Gefäße mit enger Oeffnung kann die ganze flüssige Masse, mit Ausnahme der in der Nähe der Oeffnung befindlichen Theile, als ruhend betrachtet werden. Die nach einander ausströmenden Schichten beginnen also ihre Bewegung nicht zu gleicher Zeit, die vordersten haben bereits das Maximum der Geschwindigkeit erreicht, während die hintersten erst ihre Bewegung beginnen. Es würde dies ein Zerreißen der auf einander folgenden Schichten zur Folge haben, wenn sich leere Räume bilden könnten. Weil dies aber nicht möglich ist, so ziehen sich die einzelnen Schichten mehr in die Länge, während ihr Durchmesser abnimmt; in dem Maße aber, als der Querschnitt dieser Schichten sich vermindert, müssen andere Wassertheilchen von den Seiten zufließen; da diese aber ihre Bewegung erst später beginnen, so ist klar, daß sie mit einer geringeren Geschwindigkeit in der Oeffnung selbst ankommen, als die centralen Wasserfäden.

Während also der Kern des ausfließenden Strahls in dem Momente, in welchem er die Oeffnung verläßt, die der Druckhöhe entsprechende Geschwindigkeit hat, ist er von Wasserfäden umgeben, deren Geschwindigkeit um so geringer ist, je näher sie dem Rande der Oeffnung sind: und daraus folgt dann, daß die Ausflußmenge geringer sein muß, als wenn alle Theilchen die Oeffnung mit der Geschwindigkeit des Kernstrahls verließen.

Eine Folge davon, daß die centralen Wasserfäden beim Durchgange durch die Oeffnung eine größere Geschwindigkeit haben als die Randfäden, und daß letztere zugleich noch mit einer nach der Mitte des Wasserstrahls gerichteten Geschwindigkeit behaftet sind, ist auch, daß der ausfließende Wasserstrahl nicht vollkommen cylindrisch ist, sondern daß er sich vor der Oeffnung zusammenzieht, wie dies Fig. 171 dargestellt ist. Bei cd beträgt der Querschnitt des Wasserstrahls ungefähr noch $^2/_3$ vom Flächeninhalte der Oeffnung. Ebenso beträgt die wirkliche Ausflußmenge ungefähr $^2/_3$ der theoretischen.

Fig. 171.



Bezeichnen wir mit Q die wirkliche Ausflußmenge, so ist demnach

$$Q = {}^2/_3 M = {}^2/_3 F \sqrt{2gs}$$

oder

$$Q = 0{,}64 F \sqrt{2gs}.$$

Einfluss der Ansatzröhren auf die Ausflussmenge. 88

Wenn der Ausfluß nicht durch Oeffnungen geschieht, welche in eine dünne Wand gemacht sind, sondern durch kurze Röhren, so finden merkwürdige Modificationen Statt, die wir jetzt näher betrachten wollen.

Wenn eine Ansatzröhre genau die Gestalt des freien Strahls von der Oeffnung bis zu der Stelle hat, von welcher an die Contraction nicht mehr merklich zunimmt, so übt sie gar keinen Einfluß auf die Ausflußmenge aus.

Durch cylindrische Ansatzröhren fließt der Strahl entweder frei durch, wie durch eine Oeffnung von gleichem Durchmesser, und in diesem Falle übt die Röhre keinen Einfluß aus, oder das Wasser hängt sich an die Wände der Röhre, so daß die Flüssigkeit die ganze Röhre ausfüllt und ein Strahl vom Durchmesser der Röhre ausfließt. In letzterem Falle veranlaßt die Ansatzröhre eine Vermehrung der Ausflußmenge. Während eine Oeffnung in dünner Wand 0,64 der theoretischen Ausflußmenge giebt, erhält man durch eine solche cylindrische Ansatzröhre von gleichem Durchmesser 84 Procent, vorausgesetzt, daß die Länge der Röhre nur dem vierfachen Durchmesser gleich ist. Bei geringer Druckhöhe ist der Strahl stets anhängend, bei großer Druckhöhe hingegen ist er frei. Bei mittlerem Drucke kann man ihn nach Belieben bald frei, bald anhängend machen; ein geringes Hinderniß stellt das Anhängen her, und oft reicht ein ganz schwacher Stoß hin, um den Strahl wieder frei zu machen.

Ein conisches Ansatzrohr wirkt, im Falle es voll ausfließt, wie ein cylindrisches, nur bewirkt es eine noch größere Vermehrung der Ausflußmenge.

Die Ausflußgeschwindigkeit wird durch cylindrische oder conische Ansatzröhren in demselben Verhältnisse vermindert, in welchem die Ausflußmenge vermehrt wird.

Es ist jetzt noch zu untersuchen, wie es kommt, daß Ansatzröhren die Ausflußmenge auf die erwähnte Weise vermehren, die Ausflußgeschwindigkeit dagegen vermindern.

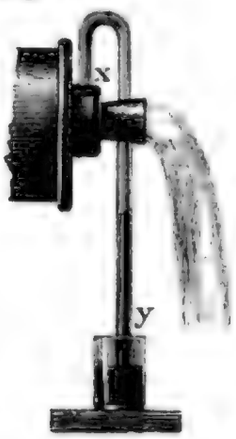
Indem das Wasser in das Ansatzrohr einströmt, erleidet es eine Contraction, wie wenn es aus einer Oeffnung in dünner Wand ausflösse; weiterhin aber, sobald einmal die Röhrenwände benetzt sind, bewirkt die Adhäsion an die Röhrenwände, daß sich die Ansatzröhre vollständig ausfüllt, und somit ist der Querschnitt des Strahles durch das Ansatzrohr vergrößert, er ist beim Austritte aus dem Rohre größer als an der Stelle der Contraction, wie man dies in Fig. 172 (a. f. S.) sieht. Daß eine solche Contraction in der Röhre wirklich stattfinden muß, geht daraus hervor, daß, wenn man dem Ansatzrohr die Gestalt des contrahirten Strahles, Fig. 172, giebt, der Ausfluß vollkommen so stattfindet, als ob das Ansatzrohr vollkommen conisch wäre.

Wenn nun die Wassertheilchen, den ganzen Querschnitt der Röhre ausfüllend, dieselbe mit der Geschwindigkeit verließen, mit welcher sie die Stelle der größten Contraction passiren, so müßte nothwendig ein Zerreißen der auf einanderfolgenden Wasserschichten eintreten. Die Trennung der Wassertheilchen, also die Bildung von leeren Räumen, wird aber durch den Druck der Luft verhindert, welcher den Einfluß der Wassertheilchen in das Rohr beschleunigt,

dagegen aber auch den Ausfluß aus demselben verzögert. Durch den Druck der Luft werden die ausfließenden Wassertheilchen so viel zurückgehalten, daß dadurch ein voller Ausfluß möglich wird.

Fig. 172.

Fig. 173.



Daß der Luftdruck hier wirklich diese Rolle spielt, geht ganz vorzüglich daraus hervor, daß, wenn das Wasser in einen luftleeren Raum ausfließt, die Ausflußmenge durch Ansatzröhren nicht vermehrt wird.

Macht man in die Seitenwand der Ansatzröhre ein Loch, so wird durch diese Oeffnung Luft eingesaugt, und der Strahl hört auf continuirlich zu sein.

Wenn in diese Seitenöffnung eine Röhre xy, Fig. 173, eingesetzt wird, deren unteres Ende in ein Gefäß mit Wasser mündet, so wird durch das Bestreben des Wassers, in der Ansatzröhre einen luftleeren Raum zu bilden, das Wasser in der Röhre xy in die Höhe gesaugt. Dieses Phänomen des Saugens beweist ebenfalls den Einfluß des Luftdruckes auf die soeben betrachteten Erscheinungen. Da eine conische Ansatzröhre eine noch größere Ausflußmenge giebt als eine cylindrische, so muß sie auch ein stärkeres Saugen erzeugen, d. h. es wird in der Röhre xy unter übrigens gleichen Umständen durch ein conisches Ansatzrohr die aufgesaugte Wassersäule zu einer größeren Höhe gehoben als durch ein cylindrisches.

89 **Seitendruck bewegter Flüssigkeiten.** Wenn aus irgend einem Reservoir das Wasser durch längere Röhren abfließt, würden die Seitenwände der Röhren gar keinen Druck auszuhalten haben, wenn keine Reibungswiderstände zu überwinden wären, die unter Umständen sehr bedeutend wirken können, so daß der größte Theil des hydrostatischen Drucks zur Ueberwindung dieser Widerstände verloren geht und der Bewegung nicht zu Gute kommt.

Man stecke eine 2 bis 3 Fuß lange Glasröhre mittelst eines Korkes in das Röhrchen r, Fig. 169, und gebe dieser Röhre eine horizontale Stellung, so wird das Wasser am Ende der Röhre weit langsamer ausfließen, als man nach der Druckhöhe erwarten sollte.

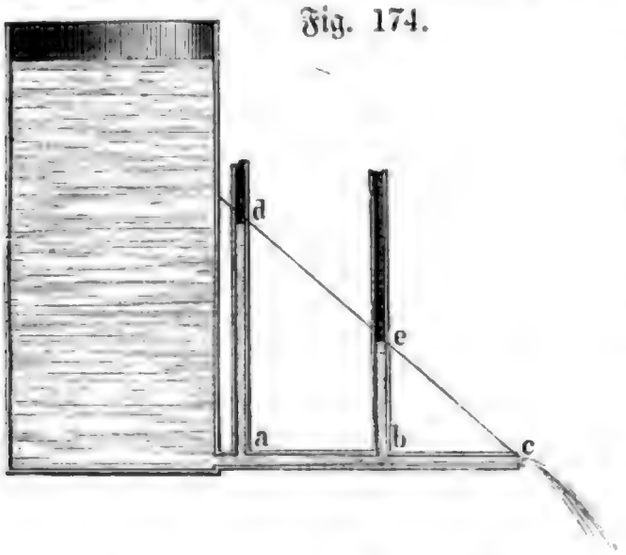
Wendet man mehrere gleich lange Röhren von verschiedenem Durchmesser zu diesem Versuche an, so sieht man, wie die Ausflußgeschwindigkeit abnimmt, wenn die Röhren enger werden.

Gesetzt, man habe gefunden, daß die Ausflußgeschwindigkeit für eine dieser

Röhren nur halb so groß sei, als man nach der Größe der Druckhöhe hätte erwarten sollen, so ist $^3/_4$ des ganzen Drucks zur Ueberwindung der Reibung nöthig und nur $^1/_4$ desselben kommt der Bewegung zu Gute.

Wenn in der Röhre *a c*, Fig. 174, das Wasser sich mit der Geschwindigkeit bewegte, welche der Druckhöhe im Reservoir entspricht, so hätten die Röhrenwände, wie schon bemerkt, gar keinen Druck auszuhalten; wenn aber das Wasser im Behälter eine Bewegung in der Röhre hervorbringt, welche nur einem Theile der Druckhöhe entspricht, so muß der Rest als hydrostatischer Druck auf die Röhrenwände wirken. Der Druck, den die Wände auszuhalten haben, ist jedoch nicht an allen Stellen der Röhre gleich, er ist um so geringer, je mehr man sich der Ausflußöffnung *c* nähert.

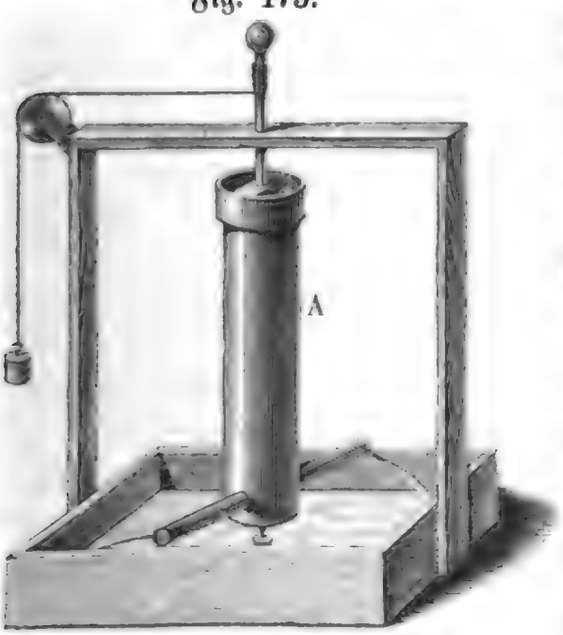
Fig. 174.



In manchen Fällen kann der Druck, den die Röhrenwände von innen auszuhalten haben, kleiner sein als der von außen auf sie wirkende Luftdruck; es ist dies überall da der Fall, wo die Bedingungen erfüllt sind, unter welchen das Phänomen des Saugens stattfinden kann. Näheres über den Reibungswiderstand in langen Röhren im Supplementbande Seite 84.

Reaction, welche durch das Ausströmen der Flüssigkeiten erzeugt wird. Ein mit Wasser gefülltes Gefäß bleibt vollständig in Ruhe, weil jeder Seitendruck durch einen vollkommen gleichen, aber entgegengesetzten aufgehoben wird. Wenn man aber die Wand an irgend einer Stelle durchbohrt, so daß das Wasser hervorspringt, so ist der Druck an dieser Stelle offenbar weggenommen, während das der Oeffnung diametral gegenüberliegende Wandstück noch gerade so stark gedrückt wird als vorher. Der Druck auf diejenige Gefäßwand, in welcher sich die Oeffnung befindet, ist also geringer als der Druck, welchen die gegenüberstehende Wand aushält, mithin wird das ganze Gefäß sich in einer Richtung bewegen müssen, welche der Richtung des ausfließenden Wasserstrahls entgegengesetzt ist, vorausgesetzt, daß diese Bewegung nicht durch Reibung oder auf irgend eine andere Weise verhindert wird. Es ist dies dem Rückstoße der Geschütze zu vergleichen. 90

Fig. 175.



Man kann die beim Ausfließen des Wassers wirkende Reaction durch einen Apparat anschaulich machen, welcher unter dem Namen des Segner'schen Wasserrades bekannt ist. Es besteht aus einem um eine verticale Axe leicht drehbaren Gefäße *A*, Fig. 175 (a. v. S.), an dessen unterem Ende sich zwei horizontale Röhren befinden, die an entsprechenden Stellen mit einer kleinen Oeffnung versehen sind. Das Gefäß dreht sich nach derjenigen Richtung um, welche der Richtung der ausströmenden Wasserstrahlen entgegengesetzt ist.

91 **Lebendige Kraft der Wassergefälle.** Wenn das Wasser eines Baches von einer gewissen Höhe herabfällt, so erlangt es eine bestimmte Geschwindigkeit, eine lebendige Kraft, vermittelst deren es einen entsprechenden mechanischen Effect hervorbringen kann. Wären wir im Stande, die lebendige Kraft des herabfallenden Wassers vollständig auf ein Wasserrad zu übertragen, so könnte dasselbe eine mechanische Arbeit verrichten, welche der Hebung einer, der herabgefallenen Wassermasse gleichen Last auf die Höhe des Gefälles äquivalent ist, d. h. Mh ist der theoretische Effect eines Gefälles, wenn M die in der Zeiteinheit herabgefallene Wassermasse und h die verticale Höhe des Gefälles bezeichnet.

Wenn z. B. von einer Höhe von 24 Fuß in jeder Secunde eine Wassermasse von 800 Pfund herabfällt, so ist der theoretische Effect dieses Gefälles 19200 Fußpfund.

Wir wollen im Folgenden den theoretischen Effect eines Gefälles mit E bezeichnen.

In der Praxis läßt sich aber dieser sogenannte theoretische Effect nie erreichen, denn

1) erlangt das in einem Bache oder in einem Gerinne herabfließende Wasser in Folge von Reibung an den Canalwänden und sonstigen Bewegungshindernissen nie die volle der Fallhöhe entsprechende Geschwindigkeit,

2) läßt sich die lebendige Kraft des Wassers nie vollständig auf ein Wasserrad übertragen, es bleibt dem Wasser immer noch eine mehr oder minder große Geschwindigkeit übrig, mit der es abfließt,

3) geht noch ein großer Theil der an das Wasserrad wirklich übertragenen lebendigen Kraft durch Ueberwindung von Reibungswiderständen verloren.

Der wirkliche Nutzeffect eines Wasserrades wird also stets bedeutend kleiner sein als der theoretische Effect.

Die eben erwähnte Art der Uebertragung der lebendigen Kraft des herabfallenden Wassers findet bei den unterschlächtigen Rädern Statt. Hier wirkt also die Schwerkraft in der Weise, daß sie dem herabfallenden Wasser eine gewisse Geschwindigkeit ertheilt, und daß alsdann die vermöge dieser Geschwindigkeit dem Wasser inwohnende lebendige Kraft auf das Rad übertragen wird.

Die Schwerkraft eines herabfallenden Körpers kann aber auch noch auf andere Weise für mechanische Arbeit verwerthet werden, indem man nämlich nicht erst den Körper frei fallen, also ihn nicht die ganze der Fallhöhe entsprechende Geschwindigkeit erlangen läßt, sondern indem man die Beschleunigung gleichsam

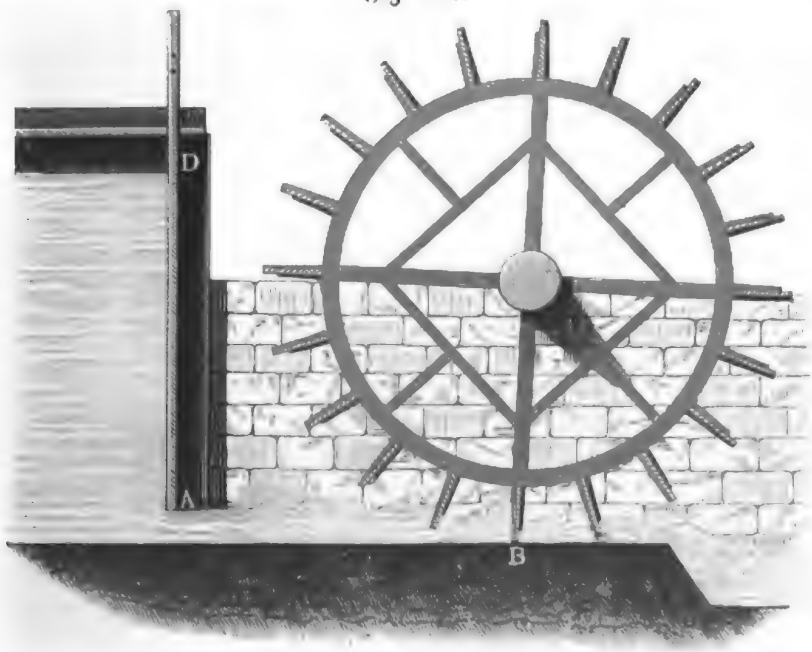
im Moment ihrer Entſtehung ſogleich conſumirt, alſo einen Fall ohne Beſchleunigung oder doch mit bedeutend verringerter Beſchleunigung eintreten läßt.

Ein Fall der Art tritt z. B. ein, wenn an der Schnur der Fallmaſchine auf der einen Seite ein nur etwas größeres Gewicht hängt als auf der anderen; in dieſer Weiſe wird auch die mechaniſche Kraft des niederfallenden Waſſers bei den oberſchlächtigen Rädern benutzt. Hier wirkt das herabſinkende Waſſer durch Druck, im erſteren Falle durch Stoß.

Verticale Waſſerräder. Die gewöhnlichen Waſſerräder drehen ſich **92** in verticaler Ebene um eine horizontale Axe. Man unterſcheidet drei Hauptarten der verticalen Waſſerräder, unterſchlächtige, oberſchlächtige und mittelſchlächtige.

Bei den unterſchlächtigen Rädern, Fig. 176, ſtehen die Schaufeln rechtwinklig auf dem Umfange des Rades. Die unterſten Schaufeln ſind in das

Fig. 176.



Waſſer eingetaucht, welches mit einer Geſchwindigkeit fortfließt, welche von der Höhe des Gefälles abhängt.

Das fließende Waſſer ſetzt nun auch das Rad in Bewegung und theilt ihm eine Geſchwindigkeit mit, welche nach Umſtänden bald größer bald kleiner ſein wird.

Wenn der Stoß des Waſſers dem Rade eine Geſchwindigkeit mittheilen ſoll, welche derjenigen gleich iſt, mit welcher das Waſſer fließen würde, wenn das Rad gar nicht da wäre, ſo darf das Rad dieſer Bewegung gar keinen Widerſtand entgegenſetzen, es darf alſo gar nicht belaſtet ſein, mithin kann es in dieſem Falle gar keine mechaniſche Wirkung hervorbringen, der Effect iſt gleich Null.

Andererſeits könnte man das Rad ſo ſtark durch ein Gegengewicht belaſten,

Digitized by Google

daß der Stoß des Wassers es gar nicht in Bewegung setzt, daß das Wasser des Gefälles nur einen statischen Druck ausübt, welcher jenem das Gleichgewicht hält. In diesem Falle ist der Effect abermals Null. Aus dieser Betrachtung geht hervor, daß, wenn das Rad eine Arbeit vollbringen soll, es mit einer Geschwindigkeit sich bewegen muß, welche geringer ist als die des frei fließenden Wassers; Theorie und Erfahrung zeigen, daß man die vortheilhafteste Wirkung erhält, wenn die Geschwindigkeit des Rades halb so groß ist als die Geschwindigkeit, welche der Höhe des Gefälles entspricht.

Daraus geht hervor, daß bei einem gewöhnlichen unterschlächtigen Rade nur die Hälfte des mechanischen Momentes des Gefälles zur Wirkung kommt, indem das Wasser noch mit der Hälfte der Geschwindigkeit abfließt, mit welcher es vor dem Rade ankam; der Effect eines solchen Rades kann also den Werth $\frac{1}{2} E$ nie übersteigen.

Allein selbst diese Wirkung kann in der Praxis nicht erreicht werden, weil immer ein Theil der Kraft durch Adhäsion des Wassers an den Wänden des Gerinnes, durch Reibungswiderstände u. s. w. verloren geht. Sorgfältig angestellte Versuche ergaben für unterschlächtige Räder, welche sich in einem Gerinne bewegen, so daß kein seitliches Abfließen des Wassers stattfinden kann, den Werth

$$e = 0{,}3\ E.$$

Bei frei hängenden Rädern aber, wie man sie an Schiffsmühlen anbringt, wo das Wasser seitlich abfließen kann, ist der Effect noch weit mehr vom absoluten Maximum entfernt.

Die unterschlächtigen Räder werden da angewandt, wo man über ein Gefälle von ziemlich bedeutender Wassermenge, aber geringer Fallhöhe zu disponiren hat.

Weil durch die eben betrachteten unterschlächtigen Räder bei dem rechtwinkligen Stoße des Wassers gegen die Schaufeln das mechanische Moment des Gefälles so sehr schlecht benutzt wird, hat Poncelet ein unterschlächtiges Rad mit krummen Schaufeln, Fig. 177, construirt, dessen Effect dem absoluten Maximum weit näher kommt.

Wenn das Wasser ganz ohne Stoß auf das Rad kommen sollte, so müßten die Schaufeln am Radumfange mit der Richtung der Tangente zusammenfallen; wollte man aber die Schaufeln wirklich so construiren, daß dieser Bedingung Genüge geleistet wird, so wäre der Austritt des Wassers aus dem Rade gehemmt; auch darf das Wasser seine Geschwindigkeit doch nicht vollständig an das Rad abtreten, weil ihm sonst keine Geschwindigkeit zum Abflusse mehr bliebe. Somit ist auch bei dem Poncelet'schen Rade ein gewisser Verlust, die Widerstände ungerechnet, unvermeidlich.

Solche Räder mit krummen Schaufeln sollen einen Effect geben, welcher $\frac{2}{3}$ bis $\frac{3}{4}$ des absoluten Maximums ist. Der größere Effect der Poncelet'schen Räder erklärt sich dadurch, daß das Wasser, indem es auf der krummen Schaufel hinaufsteigt, seine Geschwindigkeit verliert und größtentheils an das Rad abgiebt.

Die oberſchlächtigen Räder, Fig. 178, werden bei höheren Gefällen von geringerer Waſſermaſſe, bei kleineren Gebirgsbächen angewandt. Das

Fig. 177.

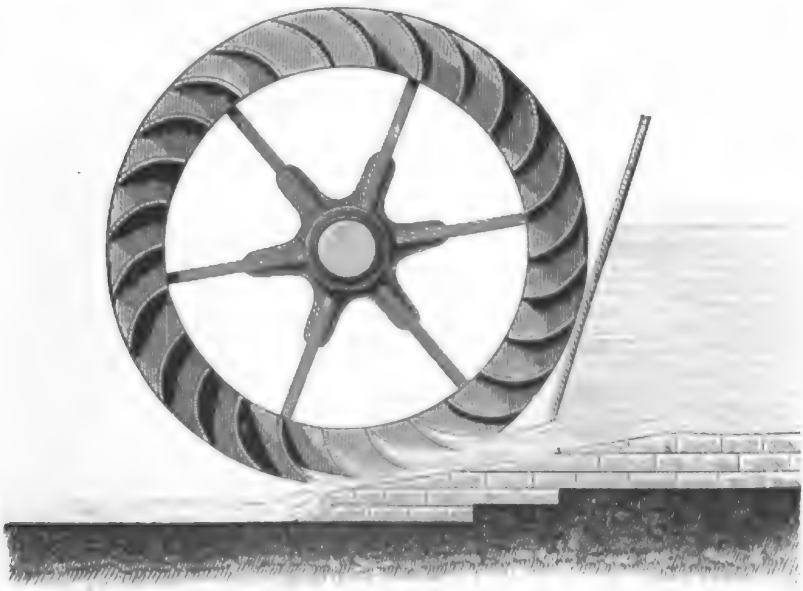
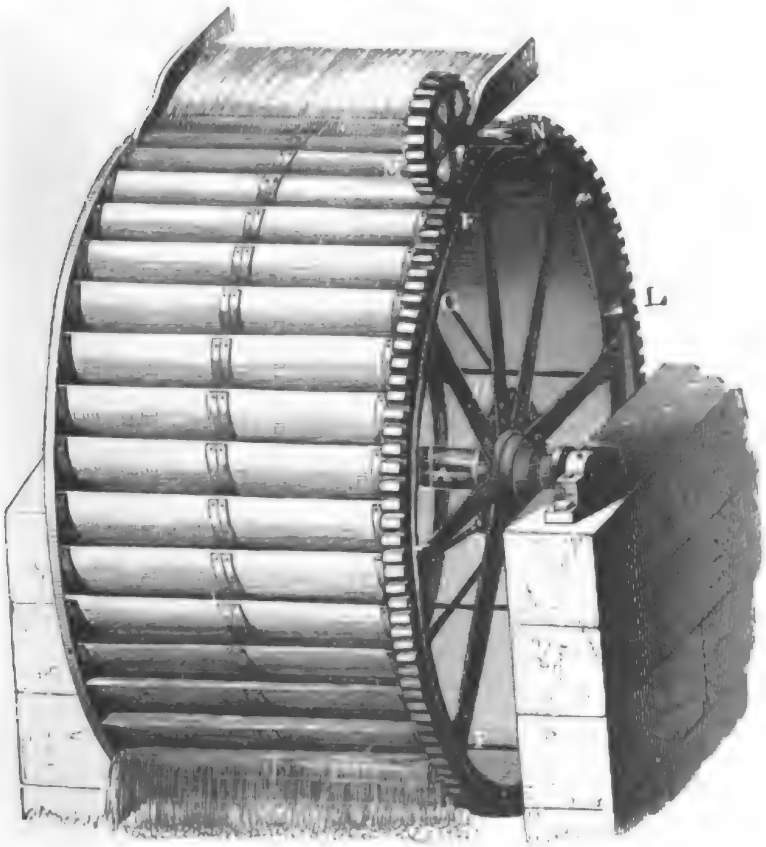


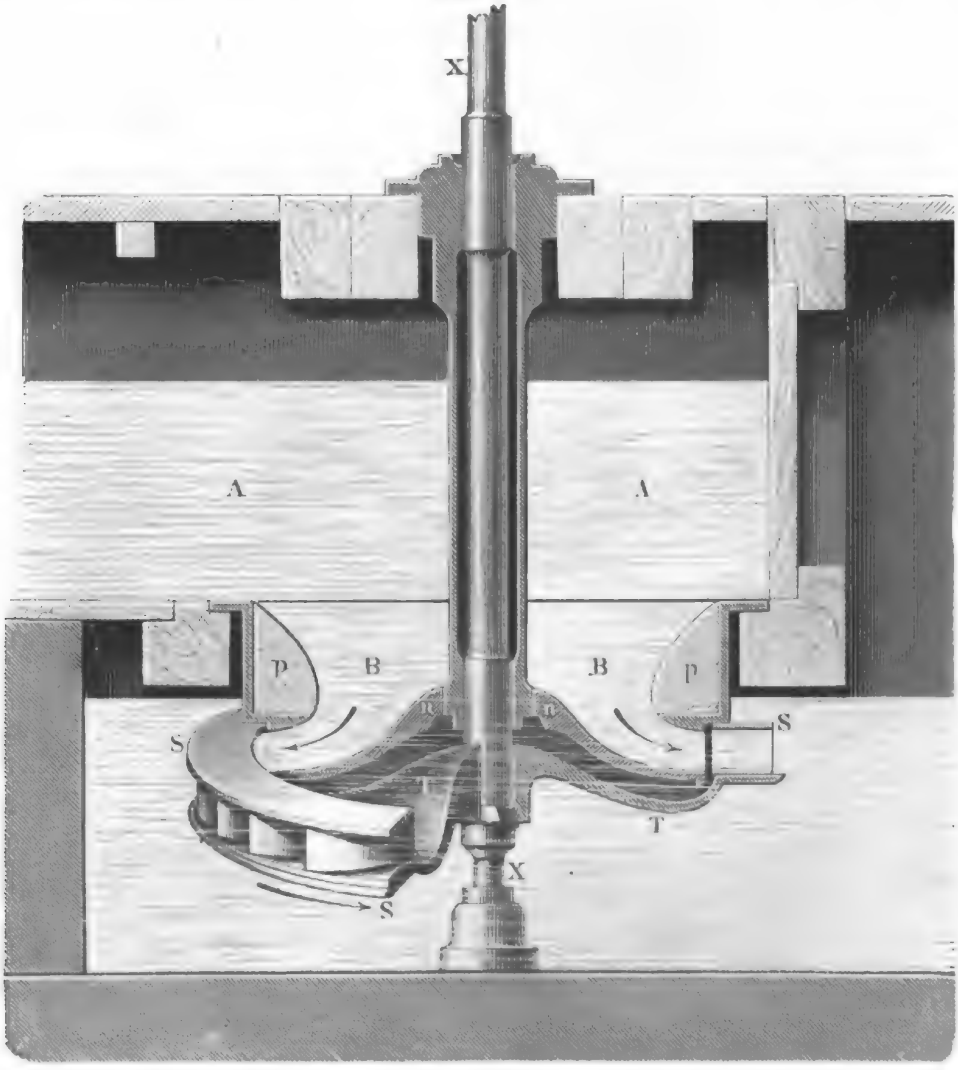
Fig. 178.



Waſſer füllt, von oben auf das Rad laufend, die Zellen auf der einen Seite des Rades, welches eben durch dieſes Uebergewicht umgedreht wird. Nahe am unteren Ende des Rades läuft das Waſſer aus den Zellen wieder aus. Bei oberſchlächtigen Rädern geht ebenfalls ein Theil des mechaniſchen Momentes des Gefälles verloren, weil die Zellen das Waſſer nicht bis zum tiefſten Punkte des Rades behalten können, ſondern ſchon früher auszugießen beginnen. Ein gut gebautes oberſchlächtiges Rad ſoll einen Effect hervorbringen, welcher 75 Procent des theoretiſchen Effectes beträgt, vorausgeſetzt, daß es ſich langſam umdreht; denn bei raſcher Umdrehung bleibt das Waſſer in den Zellen in Folge der Centrifugalkraft nicht horizontal, ſondern es ſteigt nach außen, ſo daß es noch früher aus den Zellen herausfällt.

Das mittelſchlächtige Rad bildet eine Art Mittelgattung zwiſchen dem unterſchlächtigen und dem oberſchlächtigen.

Fig. 179.



Horizontale Wasserräder. Schon früher hatte man verſucht, hori- 93
zontale Waſſerräder zu conſtruiren; allein erſt in neuerer Zeit ſind ſie allgemeiner in Gebrauch gekommen. Die horizontalen Waſſerräder ſind unter dem Namen der Turbinen bekannt.

Fig. 179 ſtellt eine für ein niedriges Gefälle conſtruirte Turbine dar.

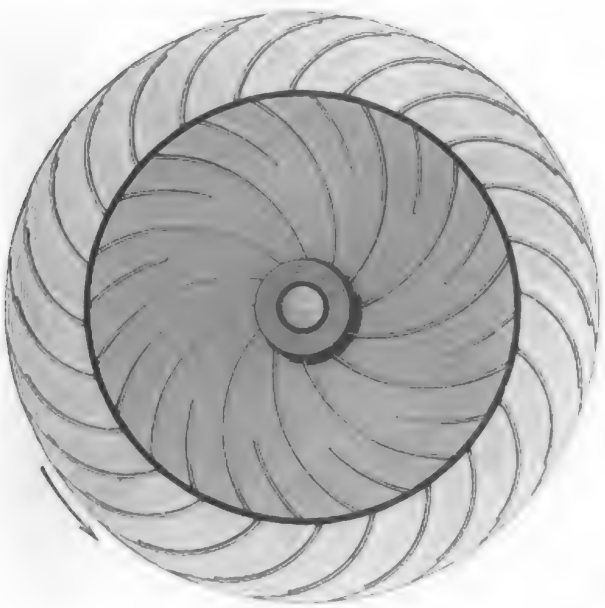
Aus dem Behälter A geht das Waſſer durch den von dem ringförmigen Wulſt p eingeſchloſſenen Raum B nieder; durch die Bodenplatte n wird es aber genöthigt, ſeitwärts in horizontaler Richtung auszuſtrömen, wie es durch die Pfeile angedeutet iſt. B iſt alſo gewiſſermaßen ein am Boden geſchloſſenes Gefäß mit einer ringsherumlaufenden, zwiſchen p und dem äußeren Umfange der Bodenplatte befindlichen ringförmigen Oeffnung, aus welcher das Waſſer in horizontaler Richtung hervorſchießen würde, wenn kein Hinderniß vorhanden wäre. — Das hier ausfließende Waſſer ſtrömt nun aber zunächſt in ein horizontales Schaufelrad S, welches ringsum die ringförmige Oeffnung von B umgiebt und welches durch den an der verticalen Axe X befeſtigten Teller T getragen wird. In unſerer Figur iſt dies Rad der größeren Deutlichkeit wegen ſo dargeſtellt, als ob $^1/_4$ deſſelben ausgeſchnitten wäre, während links $^1/_4$ deſſelben perſpectiviſch gezeichnet iſt.

Es iſt klar, daß bei der Stellung der Schaufeln, wie ſie in unſerer Figur dargeſtellt ſind, das Rad unter dem Einfluß des durch dieſelben ausſtrömenden Waſſers in der durch den größeren Pfeil angedeuteten Richtung rotiren muß.

Die Umdrehungsaxe X rotirt innerhalb einer gußeiſernen Hülſe, an deren unterem Ende die Bodenplatte n befeſtigt iſt.

Fourneyron, welcher die horizontalen Waſſerräder eigentlich erſt in die Praxis einführte, machte die Bodenplatte n ganz eben und beſetzte ſie mit Leitcurven, welche, wie Fig. 180 andeutet, das ausſtrömende Waſſer in möglichſt zweckmäßiger Richtung gegen die Schaufeln des Rades führen.

Fig. 180.



Eine gut construirte Fourneyron'sche Turbine giebt einen Nutzeffect von 75 Procent. Gadiat vereinfachte die Turbinen durch Weglassung der Leitcurven, wodurch allerdings auch der Nutzeffect etwas geringer wurde (70 Procent). Die obige Figur 179 stellt ungefähr die Einrichtung einer Gadiat'schen Turbine dar.

Schon früher hatte man versucht, das Segner'sche Wasserrad auch im Großen auszuführen, um Maschinen durch dasselbe zu treiben, doch ohne Erfolg; man erhielt immer nur einen sehr geringen Effect. Der Grund davon, daß diese Versuche so ungünstig ausfielen, lag keineswegs darin, daß die hier thätige bewegende Kraft zu gering war, sondern darin, daß der untere der beiden Zapfen, um welche sich der Apparat dreht, das ganze Gewicht einer großen Wassermasse zu tragen hatte, in Folge dessen ein unverhältnißmäßig großer Reibungswiderstand zu überwinden war.

Dieser Uebelstand wird dadurch gehoben, daß man das Wasser nicht von oben, sondern von unten in die horizontalen Arme einströmen läßt. Das Wesentliche dieser Anordnung ist aus Fig. 181 zu ersehen. Das Reservoir wird durch eine gußeiserne Röhrenleitung gebildet, welche unten horizontal umgebogen ist und mit einem vertical in die Höhe gehenden Röhrenstücke a endet. Aus der Oeffnung bei a strömt das Wasser in die Hülse b, welche sich in einer am oberen Ende von a angebrachten Stopfbüchse drehen kann.

Fig. 181.

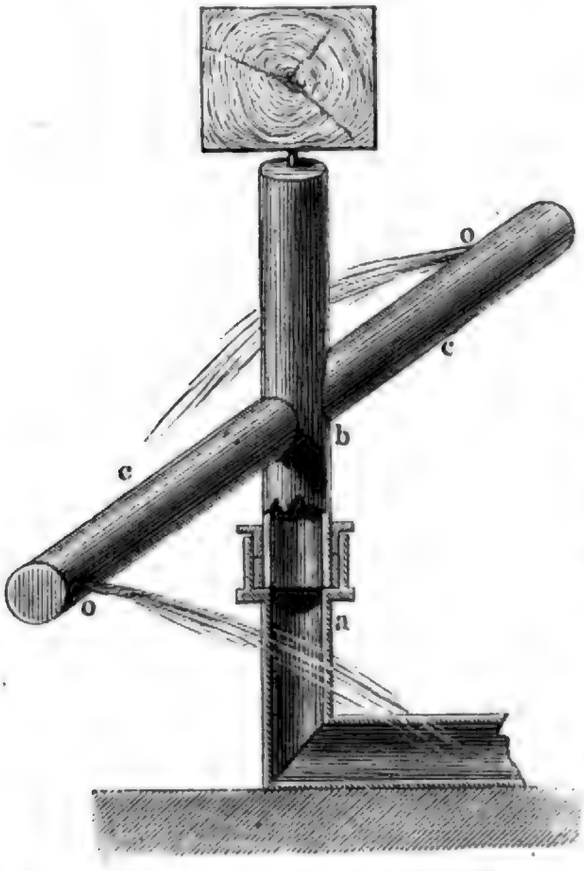
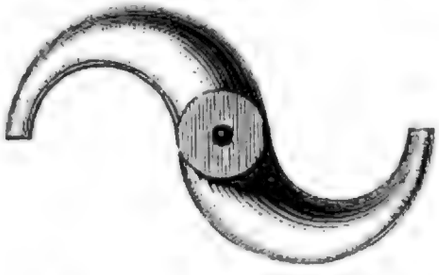


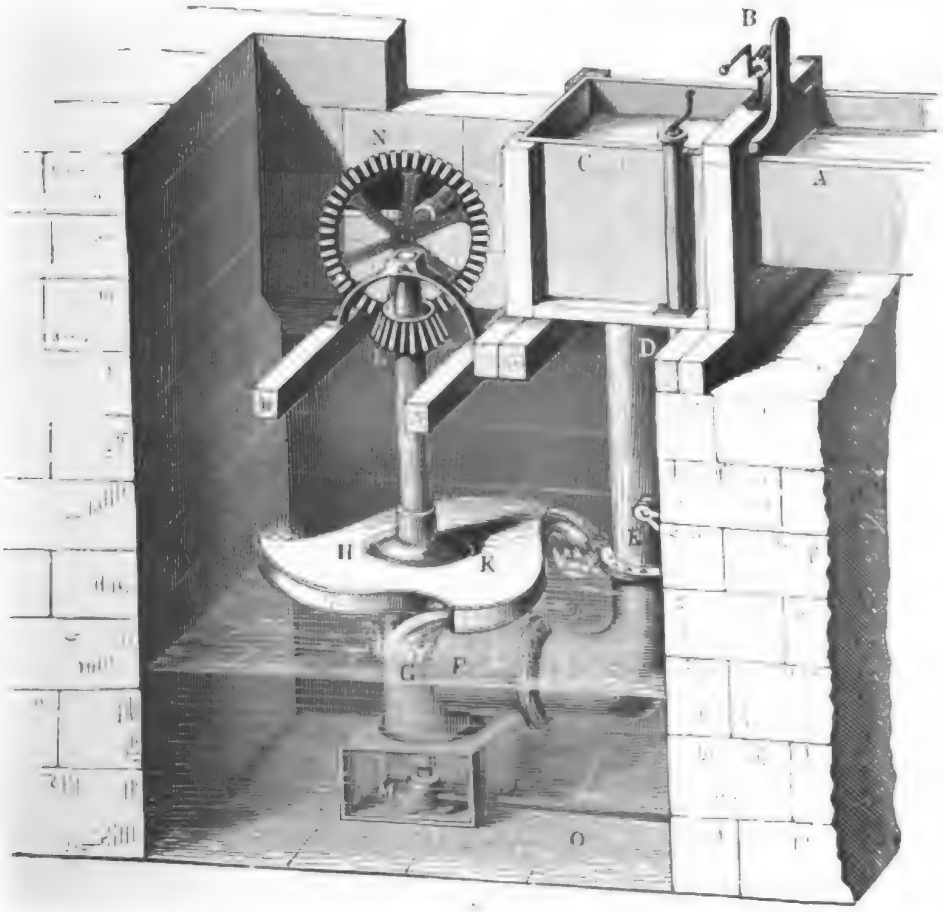
Fig. 182.



Bei der Einrichtung Fig. 181 muß aus ähnlichen Gründen, wie bei dem unterschlächtigen Rade mit flachen Schaufeln, ein großer Theil des mechanischen Momentes des Gefälles verloren gehen; denn wenn das Wasser seine Geschwindigkeit vollständig an das Rad abtreten und aus den Oeffnungen ohne Geschwindigkeit abfallen, wenn also das Rad mit einer der Fallhöhe entsprechenden Geschwindigkeit rotiren soll, so ist der Druck gegen die Rückwand, also auch der mechanische Effect, Null; das Wasser muß also noch einen Theil seiner Geschwindigkeit behalten. Auch hier läßt sich durch Krümmung der Arme, deren Gestalt ungefähr die in Fig. 182 verzeichnete ist, viel gewinnen. Das Wasser tritt, durch das Rohr strömend und gegen die gekrümmten Wände drückend, seine Geschwindigkeit nach und nach an das Rad ab, so daß es an der Oeffnung fast ohne Geschwindigkeit abfällt.

In Schottland ſind ſolche Reactionsturbinen zuerſt allgemein angewandt worden, weshalb ſie auch ſchottiſche Turbinen genannt werden. Fig. 183 ſtellt eine praktiſch ausgeführte ſchottiſche Turbine mit drei Ausflußöffnungen dar.

Fig. 183.



Die Waſſerſäulenmaſchine. Bei der Waſſerſäulenmaſchine 94
theilt die wirkende Waſſerſäule, das Aufſchlagwaſſer, gegen einen in einem Cylinder beweglichen Kolben drückend, demſelben eine hin- und hergehende Bewegung mit, die dann von dem Kolben aus weiter fortgepflanzt wird.

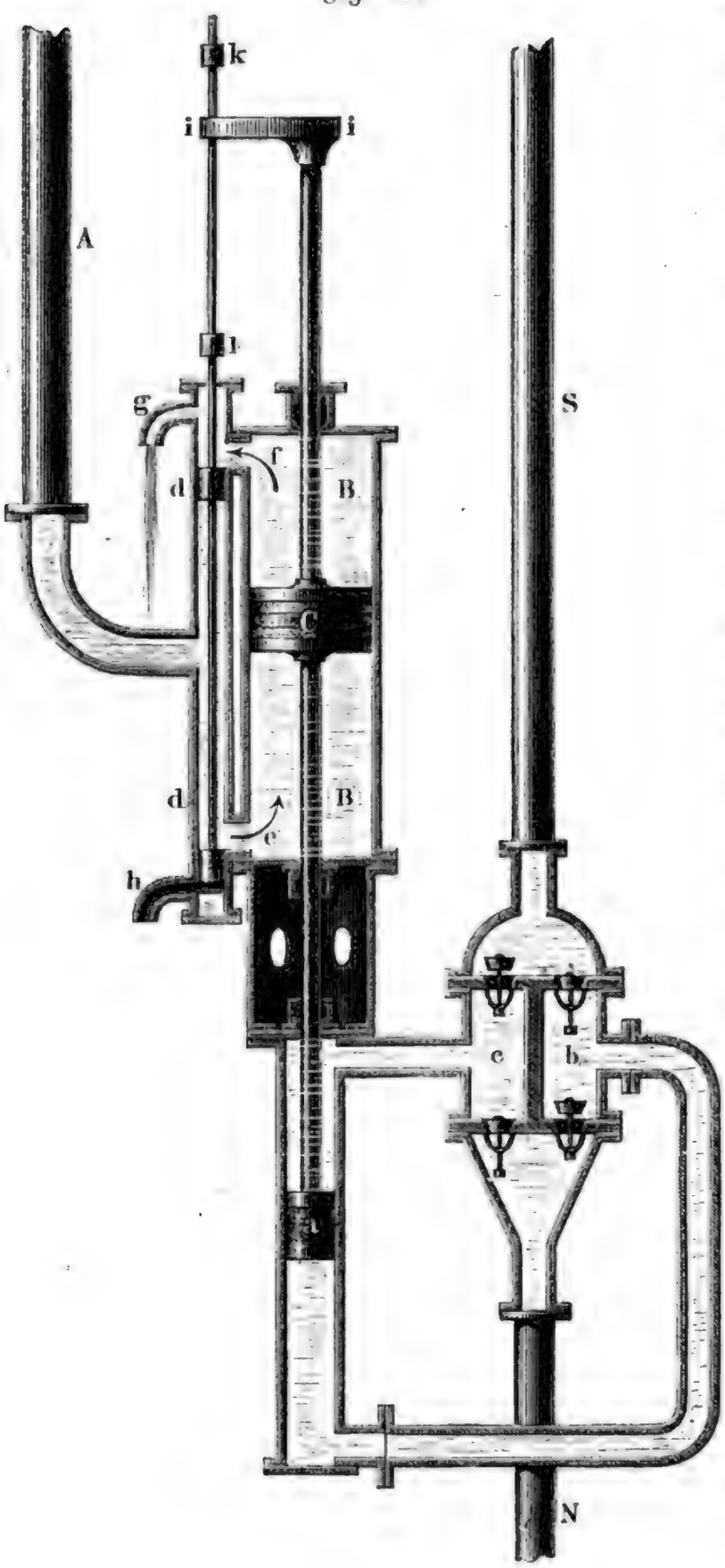
In der Regel werden die Waſſerſäulenmaſchinen angewandt, um Waſſer auf eine bedeutende Höhe zu heben. So wird z. B. die Salzſoole von Reichenhall in Oberbaiern auf Umwegen 30 Stunden weit nach Roſenheim geleitet, um hier, ſowie an einigen Zwiſchenorten, z. B. in Traunſtein, verſotten zu werden. Auf dieſem Wege befinden ſich neun, ſämmtlich von Reichenbach conſtruirte Waſſerſäulenmaſchinen, welche die Soole über Berge heben. Obgleich alle Waſſerſäulenmaſchinen auf demſelben Principe beruhen, ſo iſt ihre Ausführung doch in mannigfacher Hinſicht verſchieden.

Fig. 184 (a. f. S.) ſtellt eine Waſſerſäulenmaſchine im Durchſchnitte dar. Die Röhre *A* führt das Aufſchlagwaſſer der Maſchine zu; es tritt abwechſelnd

unten und dann wieder oben in den Cylinder B ein und treibt dadurch den Kolben C abwechselnd auf und nieder.

Um die Abwechselung im Eintreten des Wassers hervorzubringen, ist eine Vorrichtung angebracht, welche der Steuerung bei Dampfmaschinen ganz ähnlich ist. In dem Cylinder d bewegen sich zwei mit einander verbundene Kolben; bei der in der Zeichnung dargestellten Stellung dieser Kolben tritt das Aufschlagmesser bei e in den großen Cylinder und treibt den Kolben C in die Höhe. Das Wasser, welches sich über C befindet, tritt bei f aus dem Cylinder aus, um durch das Rohr g abzufließen.

Fig. 184.



Wenn der Kolben C oben angekommen ist, müssen die Kolben in der Röhre d verstellt werden, so daß nun das Aufschlagwasser von oben in den großen Cylinder eintreten kann; dies geschieht dadurch, daß das Kolbensystem in der Röhre d so weit aufgezogen wird, daß der obere der beiden kleinen Kolben oberhalb des kurzen Rohres f, der untere oberhalb e zu stehen kommt; bei dieser Stellung tritt nun das Aufschlagwasser aus d oben durch f in den Cylinder B ein, während das unter C befindliche Wasser durch e und h frei abfließt.

Das Auf- und Nieder-

gehen der Steuerungskolben in *d* kann auf mannigfache Weiſe bewerkſtelligt werden; in unſerer Figur iſt eine möglichſt einfache Vorrichtung dargeſtellt. Die an dem Kolben *C* befeſtigte Kolbenſtange geht durch eine in dem oberen Deckel des Cylinders *B* befindliche Stopfbüchſe hindurch; ſie trägt oben eine Querſchiene *i i*, welche, wenn der Kolben *C* nahe am oberen Ende ſeiner Bahn angekommen iſt, bei *k* anſtößt und dadurch die Stange in die Höhe ſchiebt, an welcher die Steuerungskolben befeſtigt ſind. Wenn nun der Kolben *C* wieder niedergeht, ſo bleiben die Steuerungskolben unverändert an ihrer Stelle, bis *C* nahe am unteren Ende ſeiner Bahn angekommen iſt; dann aber ſtößt die Schiene *i i* bei *l* an und ſchiebt die Steuerungskolben bis in ihre tiefſte Stellung herab, ſo daß nun wieder das Aufſchlagwaſſer von unten in den Cylinder *B* einſtrömt.

Betrachten wir weiter, wie die Bewegung des Kolbens *C* fortgepflanzt und verwandt wird.

Mit dem Kolben *C* iſt vermittelſt einer durch eine Stopfbüchſe gehenden Stange der Kolben *a* in Verbindung, welcher einen weit kleineren Durchmeſſer hat als *C*; der Auf- und Niedergang des Kolbens *C* bewirkt alſo einen Auf- und Niedergang des Kolbens *a*. Dieſer Kolben *a* iſt aber der Kolben einer doppelt wirkenden Saug- und Druckpumpe; wenn *a* in die Höhe geht, ſo entſteht in der Kammer *b* eine Verdünnung, das untere Ventil öffnet ſich, und es wird durch die Saugröhre *N* Waſſer in die Kammer *b* gehoben. Durch den Aufgang des Kolbens *a* wird aber zugleich Waſſer in die Kammer *c* hineingepreßt, das untere Ventil derſelben ſchließt, das obere öffnet ſich, das Waſſer wird alſo aus *c* in die Steigröhre *S* gedrückt.

Beim Niedergange des Kolbens ſchließen ſich die Ventile, die jetzt offen waren und umgekehrt; es wird Waſſer in die Kammer *c* geſaugt, aus *b* aber in die Steigröhre gehoben.

Wenn der Querſchnitt des Kolbens *C* zwei-, drei-, viermal größer iſt als der des Kolbens *a*, ſo kann man (die Reibungs- und ſonſtigen Widerſtände unberückſichtigt) eine Waſſerſäule heben, welche zwei-, drei-, viermal ſo hoch iſt als die Höhe des Aufſchlagwaſſers.

Bei einer derartigen Waſſerſäulenmaſchine beträgt die Höhe des Aufſchlagwaſſers 140 Fuß; ſie hebt die Salzſoole auf eine Höhe von 346 Fuß; dieſe Salzwaſſerſäule aber entſpricht einer Süßwaſſerſäule von 397 Fuß; der Durchmeſſer des Kolbens *C* iſt $20^1/_2$, der des Kolbens *a* 10 Zoll, der größere Kolben hat alſo einen nahezu viermal größeren Querſchnitt. Daß die gehobene Waſſerſäule nicht viermal ſo hoch iſt als die Höhe des Aufſchlagwaſſers, alſo nicht 560 Fuß beträgt, rührt daher, daß eine bedeutende Kraft zur Ueberwindung der Reibungs- und ſonſtigen Widerſtände nöthig iſt. Dieſe Maſchine giebt ungefähr 70 Procent des theoretiſchen Effectes, denn 397 verhält ſich zu 560 nahe wie 70 zu 100.

Neuntes Capitel.

Bewegung der Gase.

---

95 **Gasometer.** Bei den Gasen kann ihrer Molekularconstitution zufolge weder von einem freien Fall, noch von einem Herabfließen auf geneigte Flächen, wie es bei den tropfbar flüssigen Körpern stattfindet, die Rede sein. Eine Bewegung von Gasen tritt nur dann ein, wenn in zwei mit einander in Verbindung stehenden, mit Gasen erfüllten Räumen ein ungleicher Druck herrscht. Es wird dann das Gas von dem Raume, welcher einem stärkeren Drucke ausgesetzt ist, nach demjenigen überströmen, an welchem ein geringerer Druck stattfindet, bis das Gleichgewicht wieder hergestellt ist. Wenn man also einen luftverdünnten Raum mit der äußeren Atmosphäre in Verbindung setzt, so muß Luft einströmen, wenn man aber in einem Ballon mit Hülfe der Compressionspumpe die Luft verdichtet hat, so wird die Luft ausströmen, wenn man einen Hahn öffnet, welcher das Innere des Ballons mit der äußeren Luft in Verbindung setzt.

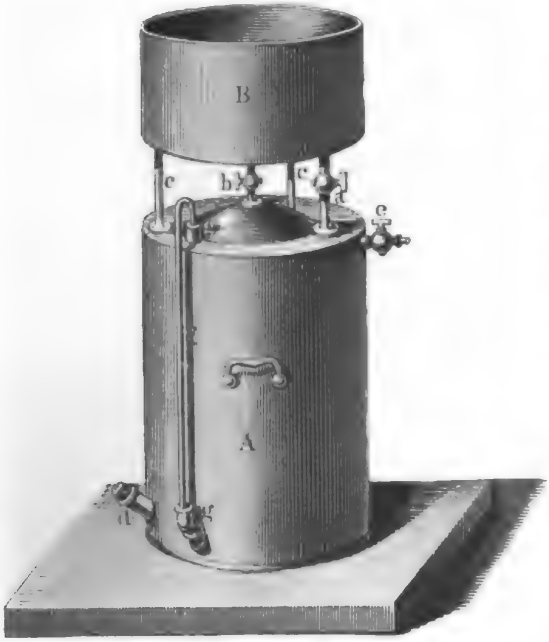
Gase, welche man in besonderen Gasbehältern, Gasometern, aufgefangen hat, werden meist durch den Druck einer Wassersäule zum Ausströmen gebracht.

Fig. 185 stellt ein kleines Gasometer dar, wie sie in chemischen Laboratorien gewöhnlich gebraucht werden. *A* ist ein Cylinder von lackirtem Blech, welcher ungefähr 16 bis 18 Zoll hoch ist, der 10 bis 12 Zoll Durchmesser hat, und dessen oberer Deckel etwas nach oben gewölbt ist. Auf diesem Deckel ruht auf drei Stützen ein zweiter, oben offener Cylinder *B*, dessen Höhe aber nur $^1/_3$ von der des unteren ist. Der obere Cylinder ist mit dem unteren durch zwei Röhren verbunden, von denen die eine, *b*, gerade in der Mitte des Deckels sich befindet. Sie darf durchaus nicht in den unteren Cylinder hineinragen. Eine zweite Verbindungsröhre *a* geht fast auf den Boden des unteren Cylinders. In jeder dieser Röhren befindet sich ein Hahn, vermittelst dessen man nach Belieben die Verbindung der beiden Cylinder herstellen und unterbrechen kann. Bei *e* befindet sich eine kurze horizontale Röhre, welche ebenfalls durch einen Hahn verschlossen werden kann und an welcher vorn ein Schraubengewinde eingeschnitten ist, um andere Röhren und Ausströmungsöffnungen anschrauben zu können. Nahe am Boden des unteren Cylinders befindet sich

bei *d* eine aufwärts ſtehende Oeffnung, welche mittelſt einer Schraube oder eines Korkes verſchloſſen werden kann.

Wenn man den unteren Cylinder mit einem Gaſe füllen will, füllt man ihn erſt mit Waſſer, und zwar auf folgende Weiſe. Die Oeffnung bei *d* wird verſchloſſen, die drei Hähne werden geöffnet und in das obere Gefäß Waſſer gegoſſen. Das Waſſer fließt in den unteren Cylinder, und wenn dieſer ſo weit gefüllt iſt, daß Waſſer bei *e* auszufließen beginnt, ſchließt man dieſen Hahn. Der Reſt von Luft, welcher nun noch im Cylinder ſich befindet, entweicht durch das Rohr *b*. Iſt der untere Cylinder auf dieſe Weiſe mit Waſſer gefüllt, ſo werden die Hähne der Verbindungsröhren geſchloſſen und die Schraube oder der Kork bei *d* weggenommen. Waſſer kann hier nicht ausfließen, weil keine Luftblaſen eindringen können. Wenn man aber bei *d* ein Gasleitungsrohr einſteckt, ſo wird neben dieſem Rohre das Waſſer ausfließen, während aus demſelben fortwährend Gasblaſen in den oberen Theil des Behälters aufſteigen. Auf dieſe Weiſe füllt ſich der untere Cylinder mehr und mehr mit Gas. Wie weit der Cylinder mit Gas gefüllt iſt, ſieht man an dem Glasrohre *f*, welches mit dem Gefäße *A* oben und unten in Verbindung ſteht, ſo daß das Waſſer in dieſem Glasrohre gleiche Höhe hat wie im Cylinder.

Fig. 185.

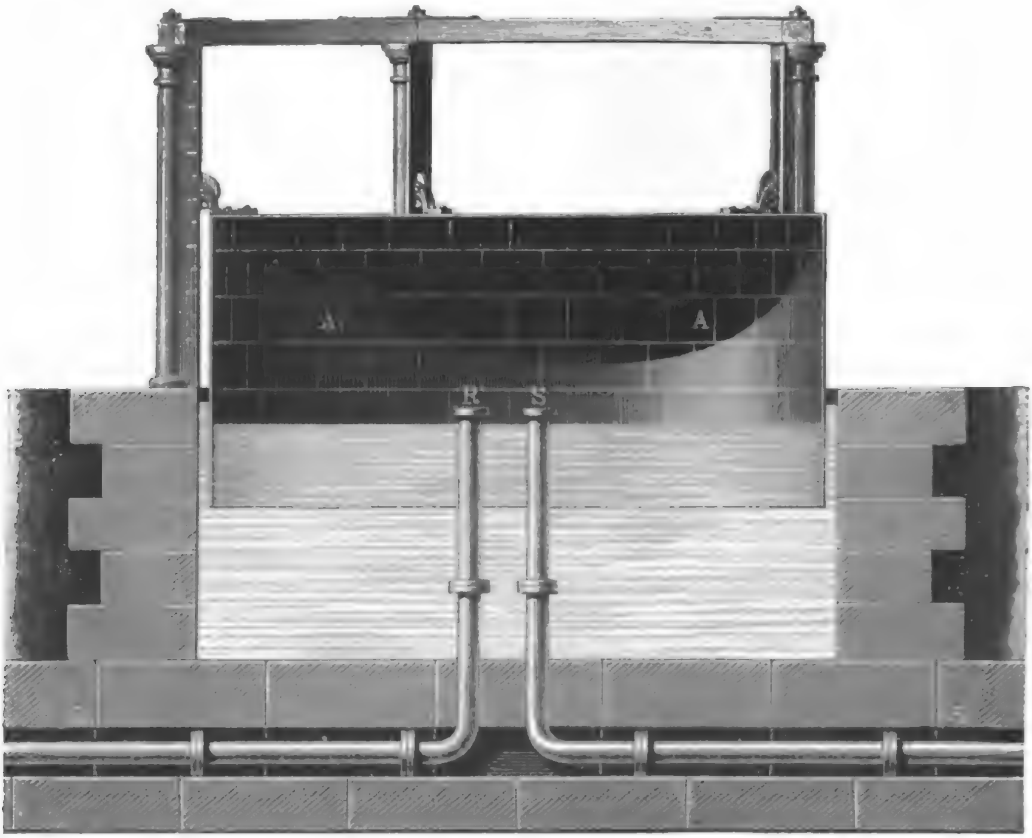


Nachdem das ganze Reſervoir mit Gas gefüllt iſt, wird die Oeffnung bei *d* verſchloſſen, der Hahn der Verbindungsröhre *a* geöffnet. Sobald nun der Hahn *e* geöffnet wird, ſtrömt das Gas hier mit einer dem Drucke der Waſſerſäule in der Röhre *a* entſprechenden Geſchwindigkeit aus.

Die großen Gaſometer, welche man zur Gasbeleuchtung anwendet, ſind nach einem anderen Principe conſtruirt. In ein mit Waſſer gefülltes Baſſin iſt ein unten offener, oben geſchloſſener, aus zuſammengenieteten Platten von Eiſenblech gebildeter Cylinder *A*, Fig. 186 (a. f. S.), eingetaucht. Von unten her ragen zwei Röhrenleitungen *R R* und *S S* in dieſen umgeſtülpten Cylinder hinein, deren Mündung ſich über dem Waſſerſpiegel im Baſſin befindet. Durch die Röhrenleitung *R R* ſtrömt, während die andere durch einen Hahn verſchloſſen iſt, das Leuchtgas aus den Retorten, in welchen es erzeugt wird, durch die Reinigungsapparate in die Höhlung des Cylinders *A* ein. In dem Maße aber, in welchem das Gas einſtrömt, muß der ganze Cylinder *A* aus dem Waſſer

des Bassins emporsteigen. Fünf eiserne, an dem Rande des Bassins angebrachte Säulen dienen, wie aus der Figur leicht zu ersehen ist, dem Cylinder zur Führung, so daß er sich beim Steigen nicht auf die Seite neigen kann.

Fig. 186.



Ist das Gasometer gefüllt, so wird das Zuströmungsrohr geschlossen, der Hahn des Abströmungsrohrs, welches sich in viele enge, zu den Gasschnäbeln führende Röhren theilt, wird geöffnet; das Gas strömt nun durch die Röhrenleitung SS ab, indem es durch das Gewicht des Blechcylinders A comprimirt wird, in Folge dessen dann auch der Wasserspiegel in A um einige Zoll tiefer steht als außen. — In dem Maße, in welchem das Gas durch die Röhrenleitung SS abströmt, sinkt der Cylinder A wieder allmälig nieder.

Der Durchmesser eines solchen Gasometers beträgt meist über 30 Fuß.

Nach demselben Princip werden auch kleinere Gasometer für Laboratorien construirt. In Fig. 187 ist ein solcher abgebildet, und wohl ohne weitere Erklärung verständlich. Es ist hier nur eine Zuleitungsröhre, aus welcher man erst das Gas ein- und nachher auch wieder ausströmen läßt. In derselben Weise könnten zwei solcher Röhren angebracht sein.

96 Gebläse. Unter Gebläse versteht man eine Vorrichtung, welche dazu dient, an eine bestimmte Stelle einen mehr oder minder starken Luftstrom hinzuleiten.

Die einfachſte und bekannteſte Form der Gebläſe iſt der Blaſebalg, welcher in Fig. 188 in ſeiner einfachſten Form dargeſtellt iſt. Beim Aufziehen des Deckels hebt ſich das im Boden angebrachte Ventil k, es dringt von außen her Luft in den inneren Raum des Blaſebalges, welche beim Niederdrücken des Deckels durch die Düſe d ausgetrieben wird, weil ſich bei dieſem Niederdrücken die Klappe k ſchließt. Mit einem einfachen Blaſebalg kann man aber keinen continuirlichen Luftſtrom erzeugen, wie dies in Schmieden, in chemiſchen Laboratorien u. ſ. w. nöthig iſt; man wendet in dieſem Falle zuſammengeſetzte Blaſebälge an, welche conſtruirt ſind, wie Fig. 189 zeigt. Die in der oberen Abtheilung A eines ſolchen Blaſebalges enthaltene Luft wird durch Gewichte, welche auf

Fig. 187.

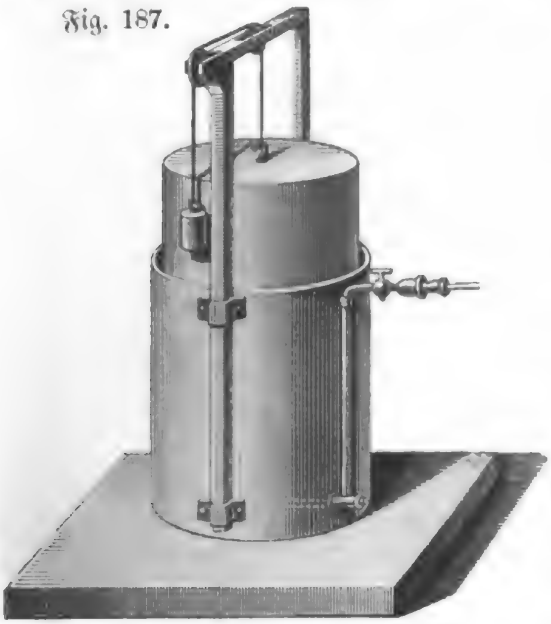
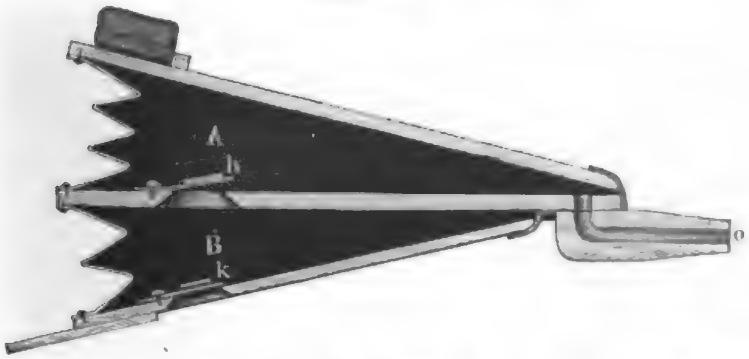


Fig. 188.

Fig. 189.

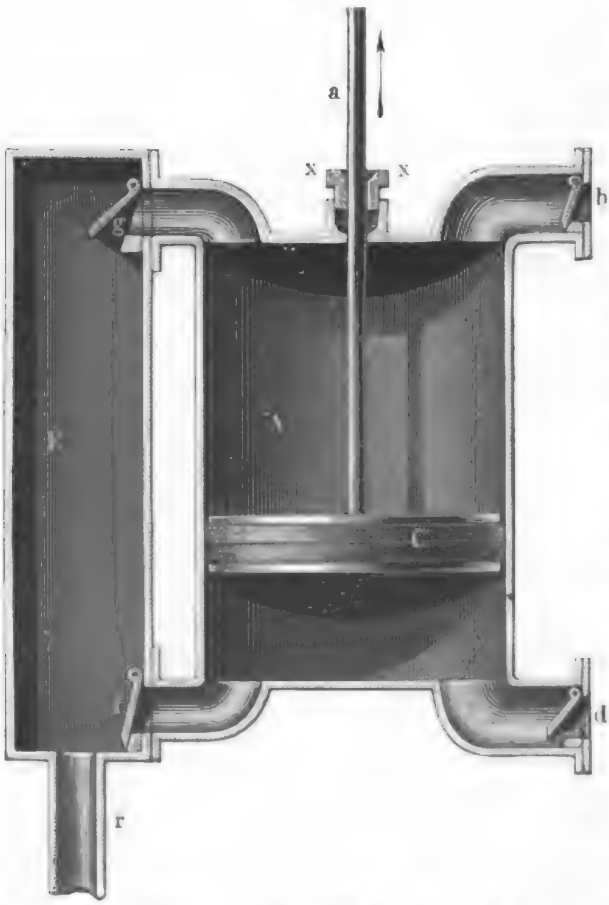


dem oberen Deckel liegen, comprimirt; ſie kann aber nur durch die Düſe o entweichen, weil das Ventil h zwiſchen A und B ſich ſchließt, ſobald die Luft in A ſtärker comprimirt iſt als in B. Wenn man die untere Platte des Raumes B hebt, ſo wird die Luft in B comprimirt, ſie hebt das nach A führende Ventil h und dringt in den oberen Raum. Beim Niedergange der unter-

ſten Platte ſchließt ſich das Ventil h wieder, das Ventil k öffnet ſich, und B füllt ſich von Neuem mit Luft, welche durch Aufziehung der unterſten Platte abermals in den oberen Raum geſchafft wird. Man begreift leicht, daß das Ausſtrömen der Luft aus A durch die Düſe nicht unterbrochen wird, während B von Neuem ſich mit Luft füllt.

Das vollkommenſte aller Gebläſe iſt das Cylindergebläſe, welches Fig. 190 abgebildet iſt. In einem wohl ausgebohrten gußeiſernen Cylinder A, in welchem ein Kolben C, an den Wänden luftdicht ſchließend, auf- und niederbewegt werden kann, geht die Kolbenſtange a luftdicht durch die in der Mitte des oberen Deckels befindliche Stopfbüchſe. Durch die Oeffnung bei b communicirt der obere, durch die Oeffnung bei d der untere Theil des Cylinders mit der freien Luft; die Oeffnungen bei g und f aber verbinden den Cylinder mit einem viereckigen Kaſten E. Bei b und d befinden ſich Klappen, die ſich nach innen, bei g und f aber ſolche, die ſich nach außen öffnen. Wenn nun der Kolben niedergeht, ſchließt ſich die Klappe bei d, die bei f aber öffnet ſich, und alle Luft aus dem unteren Theile des Cylinders wird in den Raum E getrieben. — Unterdeſſen dringt aber durch die Klappe bei b Luft von außen her in den oberen Theil des Cylinders. Wenn der Kolben wieder in die Höhe geht, ſchließt ſich b, und alle Luft, die beim Niedergang des Kolbens hier eingedrungen war, wird durch die Oeffnung bei g in den Kaſten E geſchafft, während f geſchloſſen iſt und ſich der untere Theil des Cylinders wieder durch die geöffnete Klappe d mit Luft füllt. Die in E comprimirte Luft ſtrömt durch ein am unteren Ende von E befeſtigtes Rohr nach dem Feuerraume.

Fig. 190.

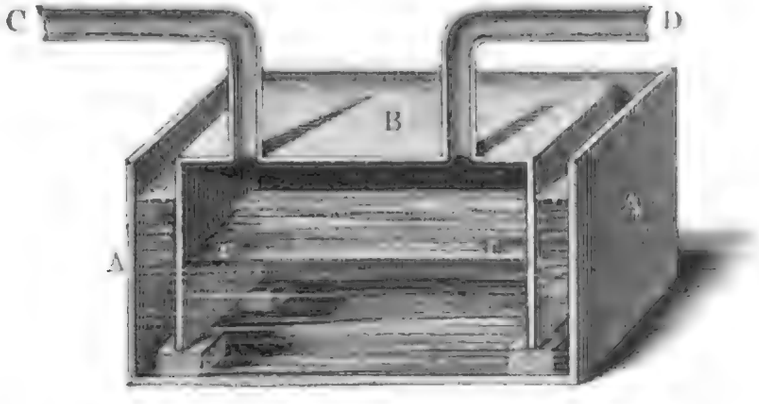


Die Geſchwindigkeit des Kolbens iſt am größten, wenn er die Mitte des Cylinders paſſirt, ſie nimmt um ſo mehr ab, je mehr er ſich der oberen oder unteren Grenze ſeines Weges nähert. Daraus geht hervor, daß der Wind,

welchen ein solcher Cylinder liefert, nicht gleichmäßig ausströmt. Da aber für die meisten Schmelzprocesse ein gleichmäßiger Windstrom nöthig ist, so muß man dafür sorgen, ihn zu reguliren. Man erreicht dies entweder dadurch, daß man an demselben Windkasten *E* drei Cylinder anbringt, deren Kolben nicht gleichzeitig die Mitte ihres Weges passiren, oder auch dadurch, daß man die Luft aus *E* erst in einen Behälter treten läßt, dessen Rauminhalt sehr groß ist im Vergleich zum Volumen des Cylinders. Je größer dieser Luftbehälter ist, welcher den Namen Regulator führt, desto weniger Einfluß hat die Unregelmäßigkeit der Kolbenbewegung auf die Gleichmäßigkeit des aus dem Regulator austretenden Luftstromes.

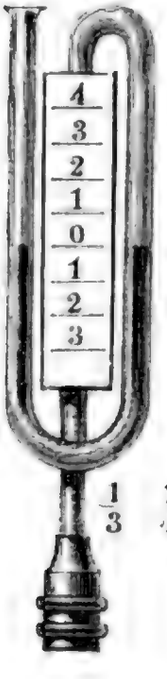
Als Regulator bei Gebläsen wendet man entweder einen aus Eisenblech luftdicht zusammengenieteten Ballon an, dessen Inhalt 40- bis 50mal so groß ist als der des Cylinders, oder den Fig. 191 abgebildeten Wasserregulator, der

Fig. 191.



seinem Wesen nach ganz mit dem Gasometer übereinkommt, wie er zur Gasbeleuchtung angewendet wird. In dem Kasten *B*, welcher aus luftdicht zusammengenieteten eisernen Platten besteht, und dessen Inhalt den des Cylinders weit übertrifft, strömt durch das Rohr *D* vom Cylinder her die Luft ein, durch das Rohr *C* aber wieder aus. Die Luft im Kasten *B* ist unten durch Wasser gesperrt, dessen Niveau *r r* im Kasten nothwendig tiefer steht als der Spiegel *v v* außerhalb. Von der Differenz der Höhen der Wasserspiegel hängt der Grad der Compression der Luft in *B* und also auch die Geschwindigkeit des Ausflusses durch das Rohr *C* ab.

Fig. 192.



Um den Druck zu messen, welchem die Gase in den verschiedenen Behältern und Gasleitungsröhren ausgesetzt sind, bedient man sich der Manometer, welche bei Gebläsen auch den Namen der Windmesser führen.

Fig. 192 stellt ein einfaches Manometer dar; es besteht aus einer doppelt gebogenen Glasröhre, deren Schenkel 6 bis 7 Zoll lang sind und welche in eine Messingfassung eingekittet ist, die an einer entsprechenden Stelle der Gasleitung aufgeschraubt werden kann.

97 **Gesetze des Ausströmens der Gase.** Für die Ausflußgeschwindigkeit der Gase gelten dieselben Gesetze wie bei Flüssigkeiten, d. h. die Ausflußgeschwindigkeit ist

$$c = \sqrt{2gs},$$

wenn s die Druckhöhe bezeichnet. Hier aber ist s eine Größe, die nicht direct durch die Beobachtung gegeben ist, wie bei tropfbar flüssigen Körpern. Für diese bezeichnet s die Höhe der Flüssigkeitssäule, deren Druck den Ausfluß bewirkt, und welche von derselben Natur und Dichtigkeit ist wie die ausströmende Flüssigkeit. Gase, welche in einem Gefäße enthalten sind, sind aber nie durch eine Luftsäule von gleichmäßiger Dichtigkeit und wohlbegränzter Höhe comprimirt, denn selbst wenn das Gas nur durch den Druck der Atmosphäre comprimirt wäre, ist die Luftsäule, welche diesen Druck hervorbringt, weder von gleichförmiger Dichtigkeit, noch von meßbarer Höhe. Also selbst in diesem Falle kann s nicht direct aus der Beobachtung entnommen werden. Gewöhnlich aber mißt man den Druck, welcher die Luft aus einem Reservoir austreibt, durch die Höhe einer Wasser- oder Quecksilbersäule, welche man an einem Manometer beobachtet. Der Werth von s, welcher in den oben angegebenen Werth der Ausflußgeschwindigkeit gesetzt werden muß, ist also jederzeit aus den beobachteten Umständen erst zu berechnen.

Der einfachste Fall, der hier in Betrachtung kommen kann, ist der, daß Luft von atmosphärischer Pressung in einen luftleeren Raum einströmt. Der mittlere atmosphärische Druck hält einer Wassersäule von 32 Fuß oder 10,4 Metern das Gleichgewicht. Die Luft aber, welche diesen mittleren Druck auszuhalten hat, ist 770mal weniger dicht als Wasser; eine Luftsäule also, welche durchweg diese Dichtigkeit hat, müßte eine Höhe von $770 \times 10{,}4 = 8008$ Metern haben, wenn sie dem Drucke der Atmosphäre das Gleichgewicht halten sollte; für diesen Fall also wäre $s = 8008$ Meter, und:

$$c = \sqrt{2 \,.\, 9{,}8 \,.\, 8008} = 396 \text{ Meter.}$$

Die Gase zeigen beim Ausströmen durch eine in einer dünnen Wand angebrachte Oeffnung die Erscheinung des zusammengezogenen Strahles (contractio venae) in ähnlicher Weise, wie wir sie auf Seite 154 bei tropfbar flüssigen Körpern kennen gelernt haben.

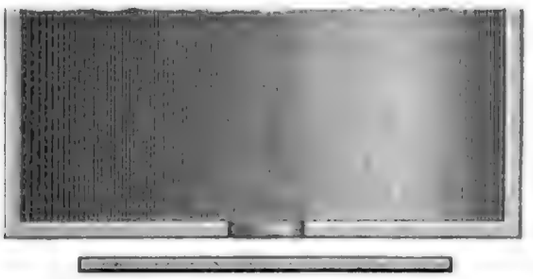
Wenn verschiedene Gase unter gleichem Druck ausströmen, so ist ihre Ausströmungsgeschwindigkeit der Quadratwurzel aus ihren specifischen Gewichten umgekehrt proportional. So ist z. B. das specifische Gewicht der atmosphärischen Luft gleich 1 gesetzt, das specifische Gewicht der Kohlensäure 1,5, das des Wasserstoffgases 0,069; es wird demnach *unter gleichem Druck* die Kohlensäure $\sqrt{1{,}5}$mal (1,2mal) langsamer, das Wasserstoffgas aber $\frac{1}{\sqrt{0{,}069}}$ oder nahe 4mal schneller ausströmen als atmosphärische Luft. (Ausführlicheres darüber im Supplementbande Seite 89.)

Seitendruck der Gase beim Ausströmen. Wenn sich Luft 98
durch Röhrenleitungen bewegt, so ist ein Reibungswiderstand zu überwinden, und dazu wird ein Theil der Spannung des comprimirten Gases verwendet werden, also für die Bewegung verloren gehen. Der Druck, den die Röhrenwände von der Tension der durchströmenden Luft auszuhalten haben, nimmt um so mehr ab, je mehr man sich der Mündung des Rohres nähert, wie man sich durch Manometer überzeugt, welche an verschiedenen Stellen der Leitung angebracht werden.

So ist z. B. der Druck, mit welchem das Leuchtgas aus den einzelnen Gasschnäbeln ausströmt, weit geringer als der Druck, unter welchem sich das Gas im Gasometer befindet. Es ist dies ganz den Erscheinungen analog, welche man bei Bewegung tropfbar flüssiger Körper in Röhrenleitungen beobachtet, und welche bereits auf Seite 157 besprochen wurden.

Das Phänomen des Saugens findet bei der Bewegung der Gase auf ganz ähnliche Weise Statt wie beim Ausströmen von Flüssigkeiten. Wenn man in den Boden eines Gefäßes, Fig. 193, welches comprimirte Luft enthält, eine

Fig. 193.



Oeffnung macht, so entweicht die Luft mit großer Gewalt. Wenn man nun der Oeffnung eine Scheibe von Holz oder Metall nähert, so wird sie, nachdem der erste Widerstand überwunden ist, nicht mehr abgestoßen; sie oscillirt lebhaft, indem sie in sehr kurzen Zwischenräumen sich der Oeffnung bald nähert, bald von ihr entfernt. Die Luft entweicht dabei mit großem Geräusch zwischen der Scheibe und der Wand. Wenn man versucht, die Scheibe wegzunehmen, so muß man große Kraft anwenden, wie wenn sie auf der Wand festgeleimt wäre.

Man erklärt diese Erscheinung folgendermaßen: Der Luftstrahl, welcher die Oeffnung verläßt, muß sich in eine dünne Schicht zwischen der Scheibe und der Wand ausbreiten. Bei unveränderter Dicke muß sie sich nun um so mehr ausbreiten, je mehr sie sich dem Rande der Scheibe nähert; sie befindet sich also in demselben Falle wie ein flüssiger Strahl, welcher die immer wachsenden Querschnitte eines conischen Ansatzrohres ausfüllen soll. Zwischen der Scheibe und der Wand bildet sich ein luftverdünnter Raum, in Folge dessen die atmosphärische Luft, von unten gegen die Scheibe drückend, sie an die Wand anpreßt.

Man kann diesen Versuch auch im Kleinen mittelst des Apparats Fig. 194 (a. f. S.) anstellen, wenn man Luft mit dem Munde durch die Röhre $a\,b$ bläst, welche mit einer ebenen Scheibe endigt; dieser, an der Röhre $a\,b$ befestigten Scheibe liegt eine andere von Kartenpapier oder dünnem Blech verfertigte gegen-

über, welche in die Höhe steigt, so bald man kräftig in die Röhre *a b* hineinbläst und welche an der oberen Scheibe haftet, so lange man mit Blasen fortfährt.

Fig. 194.

Die einfachste Art, diesen Versuch anzustellen, hat Faraday angegeben. Man schließe die Finger der offenen Hand fest an einander, so wird doch noch von Gelenk zu Gelenk ein spaltartiger Zwischenraum bleiben. Während man nun die Hand horizontal hält, so daß die Fläche abwärts gekehrt ist, applicire man die Lippen dem Intervall zwischen dem Zeige- und Mittelfinger, nahe an ihren Wurzeln, und blase möglichst stark. Bringt man nun ein Stück Papier von 3 bis 4 Quadratzoll an die Oeffnung, durch welche der Luftstrom hindurchgeht, so wird es weder durch diesen Luftstrom fortgeblasen, noch fällt es durch sein Gewicht herab, was aber sogleich geschieht, sobald man mit Blasen aufhört.

Zweites Buch.

Akuſtik oder die Lehre vom Schall.

Digitized by Google

Erstes Capitel.

Gesetze der Wellenbewegung im Allgemeinen und der Schallwellen insbesondere.

Vibrationsbewegung. Wenn ein Pendel aus seiner Gleichgewichts- 99
lage herausgebracht wird und dann sich selbst überlassen bleibt, so wird es zunächst durch die Schwere seiner Gleichgewichtslage wieder zugeführt; in derselben angelangt, kann es aber nicht in Ruhe bleiben, weil es mit einer Geschwindigkeit ankommt, die es über die Gleichgewichtslage hinaustreibt, und so macht denn das Pendel eine Reihe von Schwingungen, deren Gesetze wir schon oben betrachtet haben.

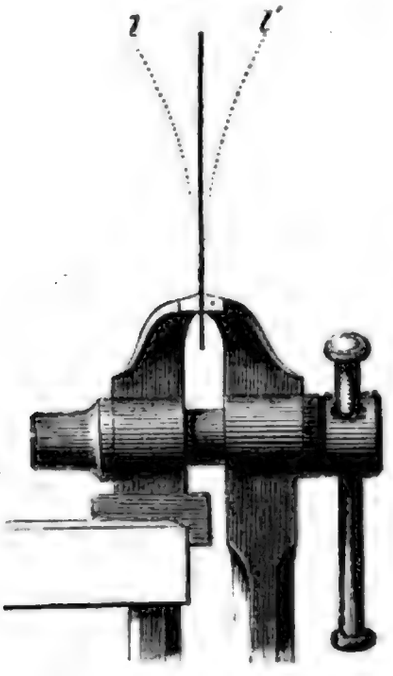
Bei der Bewegung des Pendels bleibt die gegenseitige Lage der Theilchen desselben unverändert. Wenn aber die gegenseitige Lage der einzelnen Theilchen eines Körpers durch irgend eine äußere Ursache gestört wird, so werden dieselben durch die Elasticität, welche die ursprüngliche Gleichgewichtslage wieder herzustellen strebt, ebenfalls in eine oscillatorische Bewegung gerathen, welche sich von der Pendelbewegung wesentlich dadurch unterscheidet, daß sich die gegenseitige Lage der Partikelchen mit jedem Momente ändert; man hat also hier nicht allein die Oscillationsbewegung eines einzelnen Theilchens, sondern auch die Veränderungen in der gegenseitigen Lage der Theilchen zu betrachten.

Die Oscillationsbewegung der einzelnen Theilchen eines Körpers kann von der Art sein, daß alle Theilchen gleichzeitig in Bewegung gerathen, gleichzeitig ihre Gleichgewichtslage passiren, gleichzeitig die Gränzen ihrer Schwingungen erreichen und dann gleichzeitig ihren Rückweg wieder beginnen. Von dieser Art sind die Vibrationen eines an einem Ende eingeklemmten Stahlstreifens, Fig. 195 (a. f. S.), einer zwischen zwei festen Punkten ausgespannten Saite, Fig. 196. Solche Schwingungen nennt man nach Weber „stehende Schwingungen".

Wenn die Bewegungen der einzelnen Theilchen von der Art sind, daß die Vibrationsbewegung von Theilchen zu Theilchen fortschreitet, daß jedes folgende Theilchen dieselben Oscillationen macht wie das vorhergehende, nur mit dem Unterschiede, daß es seine Bewegung später beginnt, so sind dies fortschreitende Schwingungen. Durch die fortschreitenden Schwingungen werden

Wellen erzeugt. Die Bewegung, das Fortschreiten der Welle ist hier wesentlich von der Oscillation der einzelnen Theilchen zu unterscheiden.

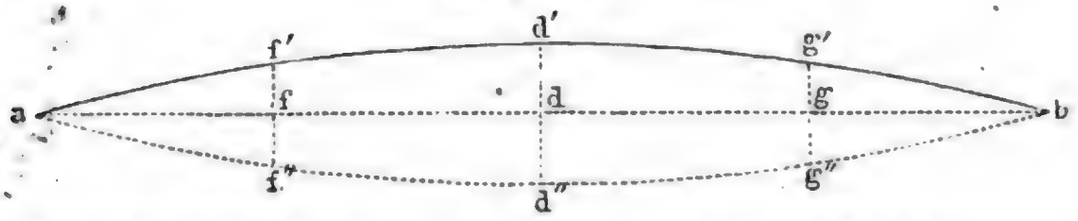
Fig. 195.



Beispiele von Wellenbewegung liefert uns eine ruhige Wasserfläche, auf welche man einen Stein fallen läßt; ein langes gespanntes Seil, gegen welches man nahe an einem Ende einen kräftigen Schlag führt; die Schallwellen in der Luft u. s. w. Wir werden diese verschiedenen Wellenbewegungen alsbald näher betrachten.

Die Vibrationsbewegungen können nun je nach der Ursache der Störung des Gleichgewichtes, je nach der Natur der Kraft, welche die Theilchen wieder in die Gleichgewichtslage zurückzuführen strebt, bald größer, bald kleiner sein, so daß dadurch die äußere Gestalt der Körper merkliche oder unmerkliche Formveränderungen erleidet; die Vibrationen können langsamer oder schneller sein; sie sind oft lang-

Fig. 196.



sam genug, daß man die einzelnen Schwingungen mit dem Auge verfolgen und zählen, oft sind sie aber auch so schnell, daß man die einzelnen Oscillationen nicht mehr für sich unterscheiden kann.

Wenn die Vibrationsbewegung eines Körpers einen gewissen Grad von Geschwindigkeit überschreitet, so kann ihre Gesammtwirkung noch einen Eindruck hervorbringen, indem sie in den umgebenden Medien Wellenbewegungen erzeugt, durch welche sie bis zu besonders eingerichteten Sinnesorganen fortgeleitet wird und hier eine eigenthümliche Empfindung veranlaßt.

So veranlassen Vibrationen, deren Geschwindigkeit innerhalb gewisser bald näher zu besprechender Gränzen liegt, in der Luft oder anderen elastischen Medien Wellen, welche, in abwechselnden Verdichtungen und Verdünnungen bestehend, bis zum Ohre fortgepflanzt als Ton wahrgenommen werden.

Noch ungleich schnellere Vibrationen der Körpertheilchen bringen, durch die Wellenbewegung eines eigenthümlichen elastischen Fluidums, welches wir Aether nennen, bis in unser Auge fortgepflanzt, hier den Eindruck des Lichtes hervor.

Da nun sowohl Schall- als Lichtvibrationen durch Wellenbewegungen fortgepflanzt werden, so wollen wir zunächst die wichtigsten Gesetze der Wellenbewegung überhaupt etwas näher betrachten und diese Betrachtung mit den Wasserwellen beginnen, weil von ihnen doch der Begriff der Welle entnom-

men ist und weil durch das Verständniß der Wasserwellen das Verständniß anderer Wellenbewegungen, namentlich der Schallwellen, welche uns hier vorzugsweise interessiren, sehr erleichtert wird.

Wasserwellen. Wenn man einen Stein ins Wasser wirft, so bilden 100
sich kreisförmige Wellen, welche von einem Mittelpunkte (der Stelle, wo der Stein ins Wasser fiel) aus nach allen Richtungen sich mit gleichförmiger Geschwindigkeit verbreiten, wenn nicht irgend eine störende Ursache wirkt. Die Wellen bestehen in abwechselnden Bergen und Thälern, welche sich ziemlich rasch einander folgen und welche in der Richtung von dem Mittelpunkte nach außen hin fortschreiten.

Während nun ein Wellenberg nach außen hin fortschreitet, nehmen nicht etwa auch die einzelnen Wassertheilchen an dieser fortschreitenden Bewegung Antheil, denn wenn ein Stückchen Holz auf dem Wasser schwimmt, so sieht man, wie es abwechselnd gehoben wird und sich dann wieder senkt, wenn Wellenberge und Wellenthäler gleichsam unter ihm wegziehen.

Die Kraft, durch welche die Wasserwellen hier fortgepflanzt werden, ist die Schwere; denn wenn durch irgend eine Ursache in der horizontalen Wasserfläche eine Erhöhung oder Vertiefung hervorgebracht wird, so wirkt alsbald die Schwere der einzelnen Wassertheilchen, um die gestörte horizontale Ebene wieder herzustellen; dadurch wird eine Oscillationsbewegung hervorgebracht, welche sich dann von Theilchen zu Theilchen fortpflanzt.

Sobald sich einmal regelmäßige Wellen gebildet haben, beschreiben die einzelnen Wassertheilchen an der Oberfläche während des Fortschreitens der Welle in sich zurückkehrende Curven, welche im Falle der größten Regelmäßigkeit Kreise sind; nur in solchen Fällen, in welchen der dem Gipfel vorangehende Theil des Wellenberges dem folgenden nicht gleich ist, beschreiben die einzelnen Wassertheilchen nicht geschlossene Curven von der Art, wie sie in Fig. 197 und Fig. 198 dargestellt sind.

Fig. 197. Fig. 198.

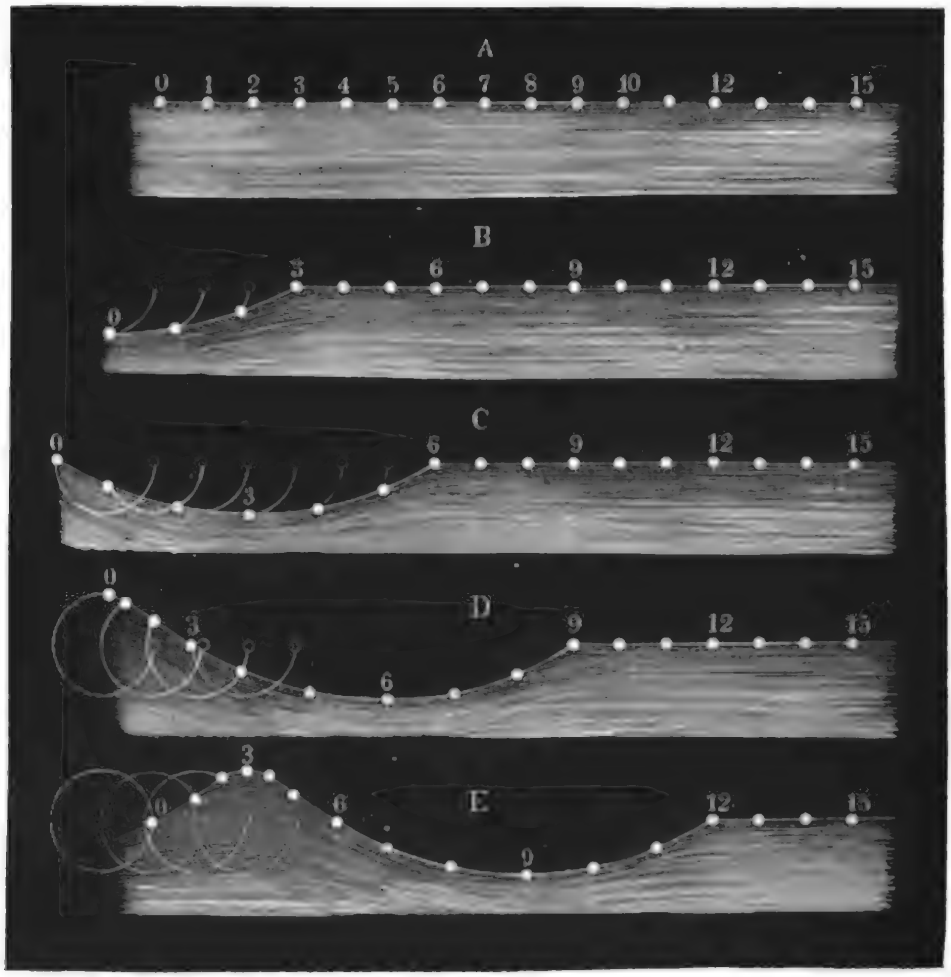
Betrachten wir nun den Zusammenhang zwischen der Bewegung der einzelnen Wassertheilchen und dem Fortschreiten der Welle etwas genauer.

Nehmen wir an, eine ganz regelmäßige Wellenbewegung habe sich, von der Linken zur Rechten fortschreitend, bis zu dem Wassertheilchen 0, Fig. 199 (a. f. S.), fortgepflanzt und veranlasse nun dieses Theilchen, eine kreisförmige Bahn zurückzulegen. Während das Theilchen 0 zum ersten Male seine Kreisbahn vollendet, wird sich die Bewegung um eine bestimmte Strecke fortpflanzen. Das mit 12 bezeichnete Wassertheilchen sei nun dasjenige, bis zu welchem sich die Oscillation von 0 aus fortpflanzt, während 0 eine Umdrehung vollendet; es wird alsdann 12 seine erste Umdrehung in demselben Momente beginnen, in welchem 0 seine zweite Umdrehung beginnt.

Denken wir uns nun den Umfang des Kreises, welchen das Theilchen 0 beschreibt, und ebenso den Raum zwischen 0 und 12 in zwölf gleiche Theile getheilt, so wird die Wellenbewegung in der Richtung von 0 nach 12 immer

um eine Abtheilung weiter ſchreiten, während das Theilchen 0 $^1/_{12}$ ſeiner kreisförmigen Bahn zurücklegt.

Fig. 199.



Während das Theilchen 0 das erſte Zwölftel ſeiner Bahn zurücklegt, pflanzt ſich die Wellenbewegung bis 1, während 0 das erſte Viertel ſeiner Bahn zurücklegt, pflanzt ſie ſich bis 3 fort.

Fig. 199 B ſtellt den Moment dar, in welchem das Theilchen 0 den vierten Theil oder $^3/_{12}$ des Kreiſes zurückgelegt hat, den es durchlaufen ſoll; das Theilchen 1 hat in dieſem Augenblicke $^2/_{12}$, das Theilchen 2 hat $^1/_{12}$ ſeiner Kreisbahn zurückgelegt, das Theilchen 3 iſt noch nicht aus ſeiner Gleichgewichtslage verrückt.

Die Fig. 199 C bezieht ſich auf den Augenblick, in welchem das Theilchen 0 die Hälfte ſeiner Bahn zurückgelegt hat; das Theilchen 1 hat $^5/_{12}$, das Theilchen 2 hat $^4/_{12}$, das Theilchen 3 hat $^3/_{12}$ ſeiner Bahn zurückgelegt; die Theilchen 4 und 5 befinden ſich in derſelben Lage wie die Theilchen 1 und 2 der vorigen Figur. Das Theilchen 6 iſt noch nicht aus ſeiner Gleichgewichtslage entfernt, beginnt aber eben ſeine Bewegung.

Hier hat das Theilchen 3 ſeine tiefſte Stellung erreicht, bei 3 alſo iſt die Mitte eines Wellenthals.

Wenn nun abermals $^1/_{12}$ der Umlaufszeit eines Theilchens vergangen iſt, ſo wird das Theilchen 3 in eine ſolche Lage gegen ſeine urſprüngliche Stellung gekommen ſein, wie es jetzt für das Theilchen 2 der Fall iſt; das Theilchen 4 hat ſeine tiefſte Stellung erreicht, es iſt um $^1/_4$ Kreis von ſeiner Gleichgewichtslage entfernt; das Wellenthal iſt alſo in dieſem Zeittheilchen von 3 bis 4 fortgerückt.

Fig. 199 D ſtellt den Moment dar, wo das Theilchen 0 gerade $^3/_4$ ſeines Weges zurückgelegt, wo es den höchſten Punkt ſeiner Bahn erreicht hat; hier iſt alſo jetzt der Gipfel eines Wellenberges. Das Theilchen 1 hat bereits $^8/_{12}$, 2 hat $^7/_{12}$, 3 hat $^6/_{12}$ ſeiner Bahn zurückgelegt; die Theilchen 4, 5, 6, 7, 8 befinden ſich in derſelben Lage wie 1, 2, 3, 4 und 5 der vorigen Figur. Von dem Momente an, auf welchen ſich Fig. 199 C bezieht, bis zu dem Momente, welchen Fig. 199 D darſtellt, iſt das Wellenthal von 3 bis 6 fortgerückt.

Während das Theilchen 0 das letzte Viertel ſeiner Bahn zurücklegt, ſchreitet der Wellenberg von 0 bis 3, das Wellenthal von 6 bis 9 fort, und in demſelben Momente, wo 0 ſeine Bahn zum erſten Male zurückgelegt hat und ſeinen Weg zum zweiten Male beginnt, wird das Theilchen 12 zum erſten Male ſeine Bewegung antreten.

Dieſer Moment iſt in Fig. 199 E dargeſtellt, welche wohl keiner Erläuterung mehr bedarf.

Die Fig. 200 ſtellt den Augenblick dar, in welchem 0 zum zweiten Male ſeine Bahn zurückgelegt hat; in dieſem Momente wird 12 ſeinen Weg zum erſten Male gemacht und die Bewegung überhaupt ſich bis 24 fortgepflanzt haben: ein Wellenberg iſt in 3, ein zweiter in 15; ein Wellenthal iſt in 9, ein zweites in 21.

Fig. 200.

Wenn nun die Wellenbewegung ungeſtört fortdauert, ſo werden dadurch, daß die einzelnen Waſſertheilchen fortfahren, ihre Kreisbahnen zu durchlaufen, die Wellenberge ſowohl als die Wellenthäler gleichmäßig in der Richtung von der Linken zur Rechten fortſchreiten, indem ein Theilchen nach dem andern den höchſten oder tiefſten Punkt ſeiner Bahn erreicht.

So ſchreitet denn Wellenberg und Wellenthal dadurch voran, daß allen Waſſertheilchen dieſelbe Kreisbewegung mitgetheilt wird, daß aber jedes folgende Theilchen dieſelbe ſpäter beginnt als das vorangehende.

Die Entfernung von einem Theilchen bis zum

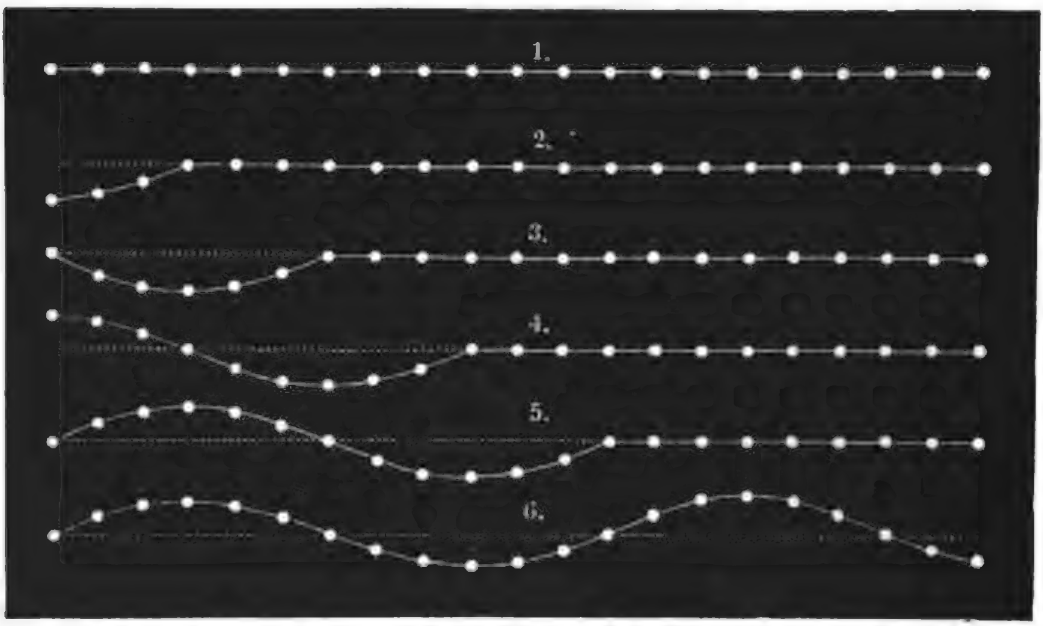
nächſten, welches ſich mit ihm in gleichen Schwingungszuſtänden befindet, alſo die Entfernung von 0 bis 12, von 12 bis 24 heißt eine Wellenlänge. Solche Theilchen beginnen gleichzeitig ihre Oſcillation, ſie erreichen gleichzeitig ihren tiefſten und ihren höchſten Stand. Demnach iſt auch die Entfernung von dem Gipfel eines Wellenberges bis zum nächſten, alſo in unſerer Figur von 3 bis 15, von der Mitte eines Wellenthales bis zur Mitte des nächſten Wellenthales, alſo hier von 9 bis 21, eine Wellenlänge.

Solche Theilchen, welche um $^1/_2$ Wellenlänge von einander entfernt ſind, wie 0 und 6, 3 und 9, 9 und 15, befinden ſich ſtets in entgegengeſetzten Schwingungszuſtänden. Das Theilchen 9 z. B. bildet eben den tiefſten Punkt eines Wellenthales, 3 und 15 dagegen den Gipfel eines Wellenberges. Die Theilchen 0 und 6 befinden ſich zwar beide in der Höhe ihrer Gleichgewichtslage, allein die Bewegung von 0 iſt nach unten, die von 6 iſt nach oben gerichtet.

Während ein Theilchen eine Oſcillation vollendet, ſchreitet die Welle um eine Wellenlänge voran.

101 **Seilwellen.** Es iſt ſchon bemerkt worden, daß die Bahnen der Waſſertheilchen nicht immer, wie wir in unſeren Zeichnungen annahmen, genau kreis-

Fig. 201.



förmig, ja nicht einmal immer in ſich ſelbſt zurückkehrende Curven ſind. Häufig geht die kreisförmige Bahn in eine elliptiſche über, indem bald der horizontale, bald der verticale Durchmeſſer der größere iſt. Wäre der horizontale Durchmeſſer gleich Null, ſo würden die einzelnen Theilchen nur rechtwinklig zu der Richtung, nach welcher ſich die Wellen fortpflanzen, auf und nieder oſcilliren. Eine Bewegung der Art iſt es, welche die Wellen am geſpannten Seile fortpflanzt. Später werden wir auch eine ſolche Wellenbewegung bei der Lehre vom Lichte näher kennen lernen.

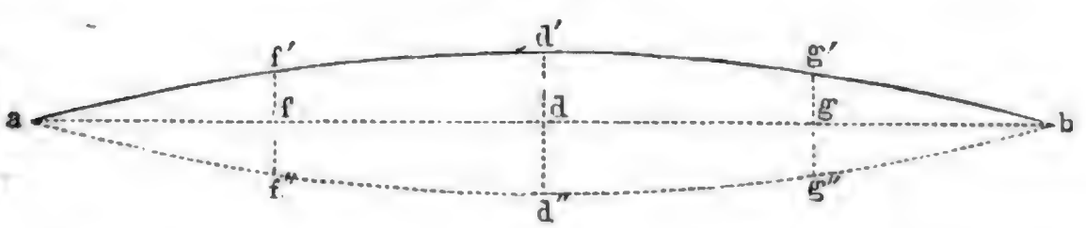
Die Curven 1 bis 6, Fig. 201, sollen dazu dienen, die Fortpflanzung solcher Wellen, also etwa der Seilwellen, anschaulich zu machen. Diese Curven entsprechen ganz genau den Figuren 199 und 200, sie lassen sich aus diesen ableiten, wenn man den horizontalen Theil der Bewegung gleich Null setzt, sie werden deshalb auch ohne weitere Erklärung verständlich sein.

Wenn eine Seilwelle, gegen den einen Befestigungspunkt fortschreitend, an demselben angekommen ist, so wird sie reflectirt, sie kehrt wieder nach dem anderen Ende zurück und läuft so mehrmals hin und her. Wenn aber nun fortwährend neue Wellen erzeugt werden, so wird es kommen, daß die reflectirten Wellen den neu ankommenden begegnen; durch das Zusammenwirken der beiden Wellensysteme aber bilden sich *stehende Wellen*.

Die *Bildung stehender Seilwellen* durch das Zusammenwirken (Interferenz) des directen und des reflectirten Wellensystems wollen wir hier nicht näher untersuchen, weil wir später doch die auf ganz ähnlichen Principien beruhende Bildung stehender Luftwellen einer genauen Betrachtung unterwerfen müssen; wir wollen hier nur noch die Art der Bewegung eines Seiles oder einer Saite während solcher stehenden Schwingungen näher betrachten.

Der einfachste Fall ist der, daß das Seil seiner ganzen Länge nach schwingt, wie es in Fig. 202 dargestellt ist. Man kann diese Bewegung da-

Fig. 202.



durch hervorbringen, daß man die Mitte eines nicht gar fest gespannten Seiles von 10 bis 20 Fuß Länge etwas aus ihrer Gleichgewichtslage (am besten etwas nach der Rechten oder nach der Linken) entfernt und dann das Seil sich selbst überläßt. Alle Theilchen befinden sich gleichzeitig auf der einen und dann wieder auf der andern Seite der Gleichgewichtslage; sie erreichen gleichzeitig das Maximum ihrer Entfernung von der Gleichgewichtslage auf der rechten Seite und kommen gleichzeitig auf den Endpunkten ihrer Bahnen auf der linken Seite an. Die Theilchen also, deren Gleichgewichtslage f, d und g ist, kommen gleichzeitig in f', d' und g' an, sie passiren gleichzeitig ihre Gleichgewichtslage, nach derselben Richtung sich bewegend und kommen gleichzeitig in f'', d'', g'' an.

Während hier also sich alle Theilchen gleichzeitig in gleichen Schwingungszuständen befinden, ist nur die Amplitude ihrer Oscillationen ungleich, sie ist für das Theilchen d größer, als für f und g.

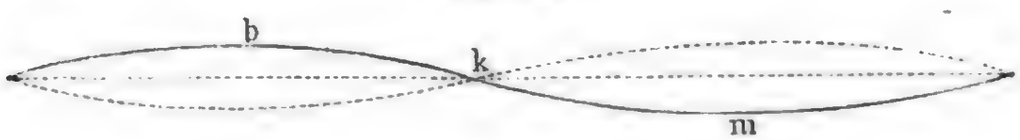
Die Schwingungen einer gespannten Saite, welche man durch Anschlagen oder durch Anstreichen mit einem Fiedelbogen in Vibrationen versetzt, sind ganz von derselben Art. Die Schwingungen der Saite sind aber so schnell, daß man die einzelnen Oscillationen als solche nicht mehr unterscheiden kann, dahingegen

bringen ſie nun einen Ton hervor. In Beziehung auf dieſen Ton werden wir ſpäter die Schwingungen der Saite noch einmal zu betrachten haben.

Dagegen ſind die ſtehenden Schwingungen eines ſchwach geſpannten Seiles langſam genug, um ſie zählen zu können; am beſten laſſen ſie ſich zeigen, wenn man das eine Ende eines 10 bis 20 Fuß langen, 4 bis 8 Linien dicken Seiles befeſtigt, das andere aber in der Hand hält und mit demſelben in gleichförmiger Geſchwindigkeit kleine Kreiſe beſchreibt. Wenn man die richtige Geſchwindigkeit für die Bewegung der Hand gefunden hat, was während des Verſuches ganz leicht iſt, ſo wird das Seil in eine ſolche Bewegung gerathen, daß die Mitte deſſelben einen großen Kreis um ihre Gleichgewichtslage beſchreibt. Alle anderen Punkte des Seiles drehen ſich dann gleichfalls in Kreiſen um ihre Gleichgewichtslage; nur ſind die Kreiſe um ſo kleiner, je näher die Punkte den Enden des Seiles liegen.

Wenn man nun die Bewegung der Hand beſchleunigt, ſo wird die Regelmäßigkeit der Bewegung des Seiles geſtört; es iſt aber leicht, die Geſchwindigkeit der Hand ſo zu beſchleunigen, daß ſich in der Mitte des Seiles ein Ruhepunkt bildet. Jede Hälfte des Seiles ſchwingt dann ganz in der Weiſe, wie in dem vorigen Falle das ganze Seil; die Mitte einer jeden Hälfte beſchreibt größere Kreiſe, als alle übrigen Punkte; hier bildet ſich alſo ein Bauch. In Fig. 203 haben wir zwei Bäuche und einen Knoten; ſo nennt man nämlich den ruhenden Punkt k, welcher die beiden ſchwingenden Theile ſcheidet.

Fig. 203.



Wenn b ſeine höchſte Stellung erreicht, ſo erreicht m gleichzeitig ſeine tiefſte und umgekehrt.

Bei noch größerer Geſchwindigkeit der Hand gelangt man leicht dahin, im Seile zwei Knoten und drei Bäuche zu erzeugen, wie dies in Fig. 204 dargeſtellt iſt.

Fig. 204.

Ebenſo iſt es möglich, daß ſich das Seil in noch mehr Abtheilungen theilt, die immer durch einen Knotenpunkt getrennt ſind.

Auch an geſpannten Saiten laſſen ſich die Knotenpunkte beobachten. Fig. 205 ſtelle eine geſpannte Saite dar, an welcher durch einen Steg ein Stück abgeſchnitten wird, deſſen Länge $^1/_3$ von der Länge der ganzen Saite beträgt, ſo alſo, daß durch den Steg die Saite in zwei Theile getheilt wird, von denen der eine halb ſo groß iſt als der andere. Wenn man nun

das kleinere Stück mit dem Fiedelbogen anſtreicht, ſo geräth auch das andere Stück in Vibrationen, und zwar ſo, daß ſich ein Knoten in *n* und zwei Bäuche

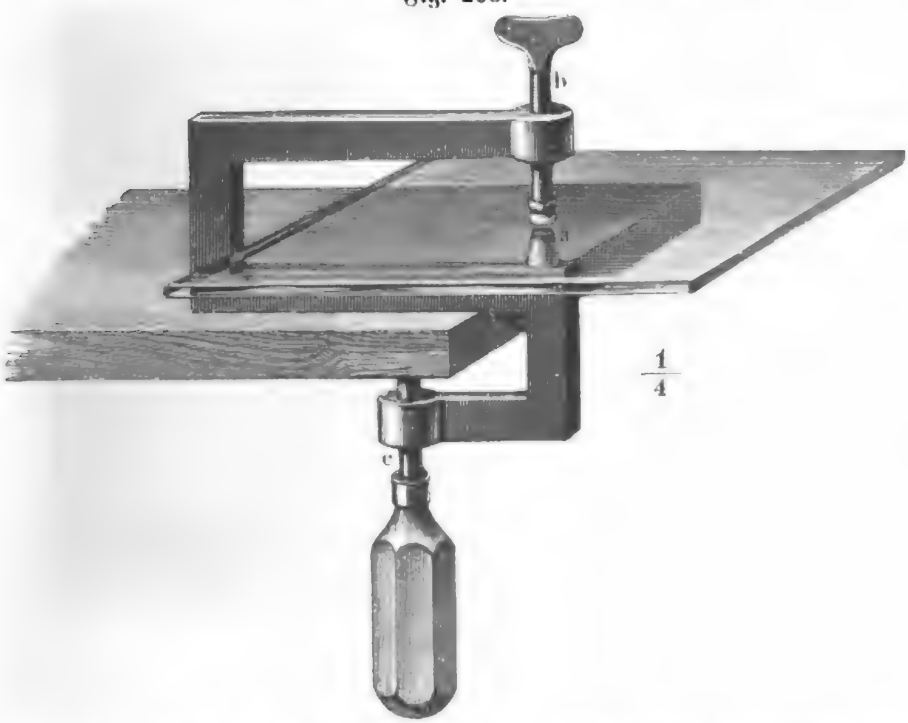
Fig. 205.

in *v* und *v'* bilden. Der Knoten läßt ſich dadurch nachweiſen, daß man an verſchiedenen Stellen der Saite leichte Papierreiterchen aufſetzt, welche überall ſonſt abgeworfen werden, während ſie auf den Knotenpunkten ſitzen bleiben.

Wenn man den Steg ſo ſetzt, daß durch ihn die Saite in zwei Theile getheilt wird, von denen der kleinere $^1/_4$ von der ganzen Länge der Saite iſt, ſo bilden ſich, wenn man dieſen kleineren Theil mit dem Fiedelbogen anſtreicht, im größern zwei Knoten und drei Bäuche ꝛc.

Klangfiguren. In Platten, Glocken ꝛc. laſſen ſich ebenfalls ſtehende 102
Schwingungen hervorbringen. Um Platten vibriren zu machen, kann man die Zange, Fig. 206, anwenden, welche an einen Tiſch angeſchraubt wird. Die

Fig. 206.



Platte wird zwiſchen den kleinen Kegel *a* und die Schraube *b* gebracht, welche beide mit einem Stückchen Kork oder Leder endigen. Wenn die Platte gehörig feſtgeſchraubt iſt, kann man die Vibrationen durch Anſtreichen mit dem Fiedelbogen hervorbringen.

Man kann auf dieſe Weiſe Platten von Holz, Glas, Metall u. ſ. w. in Schwingungen verſetzen, ſie mögen nun dreieckig, viereckig, rund, elliptiſch u. ſ. w.

Digitized by Google

ſein. Die vibrirenden Platten erzeugen ebenſo wie die vibrirenden Saiten Töne, welche bald höher, bald tiefer ſind. Man beobachtet ferner, daß ſich die Platte für jeden dieſer Töne in mehrere für ſich ſchwingende Flächenſtücke theilt, welche durch Ruhelinien oder Knotenlinien getrennt ſind. Im Allgemeinen wird die Ausdehnung der ſchwingenden Theile um ſo kleiner, die Knotenlinien werden alſo um ſo zahlreicher, je höher der Ton wird.

Um die Exiſtenz dieſer Knotenlinien nachzuweiſen, ſtreut man auf die obere Fläche der Tafel feinen trockenen Sand, welcher während des Tönens in die Höhe hüpft und niederfällt und ſich endlich an den Knotenlinien anhäuft. Auf dieſe Weiſe entſtehen die ſogenannten Klangfiguren, deren Erfinder Chladni iſt.

Mit derſelben Platte laſſen ſich, wie ſchon bemerkt, eine Menge verſchiedener Figuren erzeugen, je nachdem man an verſchiedenen Stellen des Randes mit dem Fiedelbogen ſtreicht, während man andere Stellen des Randes mit dem Finger berührt. Fig. 207 bis Fig. 210 zeigen einige Klangfiguren quadratiſcher, in ihrer Mitte eingeklemmter Scheiben. Fig. 207 wird erhalten, wenn man den Finger in der Mitte einer Seite bei *a* anhält, und an einem Eck bei *b* mit dem Fiedelbogen ſtreicht. Streicht man dagegen in der Mitte einer Seite *b*, Fig. 208, während man das Eck bei *a* mit einem Finger berührt, ſo erhält man ein durch die beiden Diagonalen der Platte gebildetes Kreuz. Die Figuren 209 und 210 erhält man, wenn man an der mit *b* bezeichneten Stelle ſtreicht und an die beiden mit *a* bezeichneten Punkte einen Finger anhält.

Fig. 207.

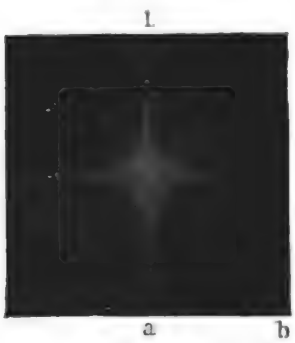


Fig. 208.

Fig. 209.

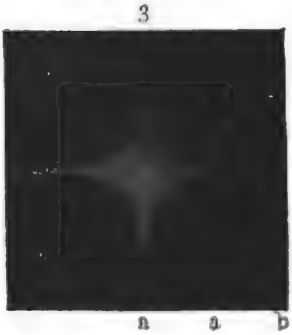


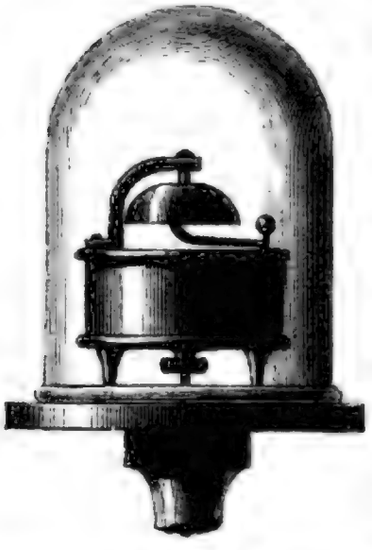
Fig. 210.

Gerade ſo wie ebene Platten, ſo theilen ſich auch Glocken beim Tönen in einzelne vibrirende, durch Knotenlinien getrennte Abtheilungen.

Fortpflanzung des Schalles in der Luft. Die Vibrations- 103
bewegung irgend eines Körpers, welcher rings von Luft umgeben ist, erzeugt in derselben eine Wellenbewegung, welche, bis zu unserm Ohre fortgepflanzt, die Empfindung des Schalles hervorbringt. Ebenso wie die Luft sind aber auch alle anderen elastischen Körper, feste sowohl wie flüssige, fähig, den Schall mehr oder weniger gut zu leiten. Ein materieller Körper ist aber zur Schall-Leitung unbedingt nothwendig; durch das Vacuum pflanzt sich der Schall nicht fort.

Um dies zu zeigen, setze man auf den Teller der Luftpumpe ein aufgezogenes Weckerwerk, Fig. 211, jedoch so, daß die Füße desselben nicht direct auf dem Teller aufstehen, sondern auf einem Kissen von Wolle oder Cattun oder auch auf einigen auf einander gelegten Plättchen von dickem vulcanisirten Kautschuk ruhen. Durch das Uhrwerk wird ein Hammer, welcher sich bei unserer Vorrichtung im Innern der Glocke befindet, bald auf der einen, bald auf der andern Seite derselben angeschlagen. Der dadurch verbreitete Schall wird sogleich schwächer, wenn man die gläserne Luftpumpenglocke aufsetzt, aber immerhin bleibt er noch deutlich hörbar; wird aber nun evacuirt, so verschwindet der Ton vollständig. Läßt man die Luft allmälig wieder eintreten, so unterscheidet man alsbald den Ton, welcher stärker und stärker wird, wenn sich die Glocke mehr und mehr mit Luft füllt. Der Schall kann sich also nicht durch den leeren Raum fortpflanzen.

Fig. 211.



Der größte Lärm auf der Erde kann sich demnach nicht über die Gränzen unserer Atmosphäre verbreiten, und von keinem andern Himmelskörper kann auch nur das mindeste Geräusch bis zu unserer Erde dringen; die furchtbarsten Explosionen könnten auf dem Monde stattfinden, ohne daß wir etwas davon hören.

Sauſſure sagt, daß auf dem Gipfel des Montblanc ein Pistolenschuß weniger Geräusch macht, als wenn man in der Ebene ein Kinderkanönchen losschießt, und Gay-Luſſac fand, mit seinem Ballon in einer Höhe von 20000 Fuß, also in einer sehr verdünnten Luft schwebend, daß die Intensität seiner Stimme ungemein abgenommen hatte.

Andere Gase und Dämpfe leiten den Schall eben so gut, wie atmosphärische Luft, wovon man sich überzeugen kann, wenn man in das Vacuum, in welchem sich das gehende Weckerwerk, Fig. 211, befindet, verschiedene Gase oder Dämpfe eintreten läßt.

Im Wasser pflanzt sich der Schall sehr gut fort, die Taucher hören, was am Ufer gesprochen wird, und am Ufer hört man deutlich, wenn in großen Tiefen zwei Steine an einander geschlagen werden.

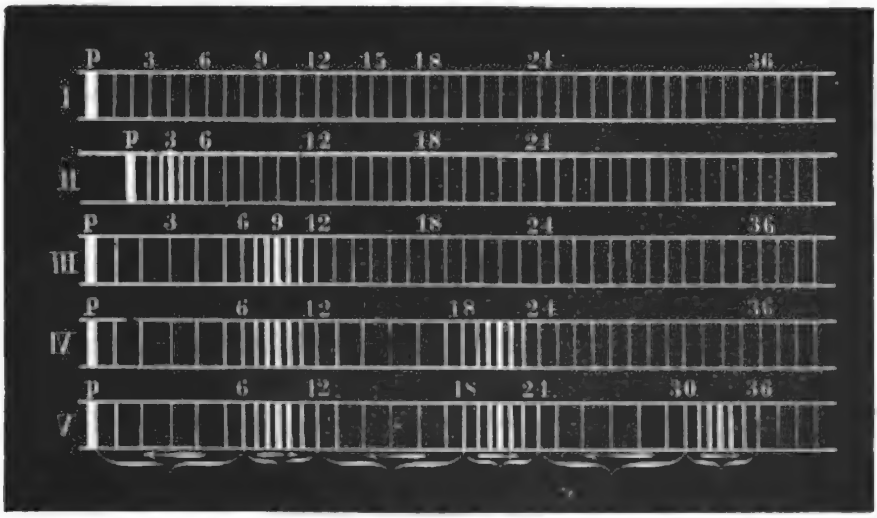
Die festen Körper endlich können den Schall nicht allein erzeugen, sondern auch fortpflanzen. Wenn man dem einen Ende eines 20 bis 25 Meter langen Balkens das Ohr nähert, so hört man deutlich, wenn am andern Ende nur

ſchwach angeklopft wird, wenngleich das Geräuſch in der Luft ſo ſchwach iſt, daß es ſelbſt der kaum hört, welcher es hervorgebracht hat.

Um die Art und Weiſe, wie ſich die Schallſchwingungen in der Luft fortpflanzen, anſchaulich zu machen, wollen wir uns denken, daß die Luft in einer an einem Ende offenen Röhre durch die Oſcillationen eines am anderen Ende angebrachten Kolbens in Schwingungen verſetzt wird.

In Fig. 212 iſt eine ſolche Röhre dargeſtellt; die bei I gleichweit von einander ſtehenden Striche ſtellen einzelne Schichten der überall gleich dichten

Fig. 212.



Luft dar; p iſt der Kolben. Dieſer Kolben ſoll nun aus der Stellung bei I in die bei II, dann wieder zurück in ſeine urſprüngliche Lage und ſo fort raſch hin- und hergehen, ſo wird ſich dieſelbe Bewegung nach und nach auf alle folgenden Luftſchichten fortpflanzen, ſo daß jede in derſelben Weiſe hin und her oſcillirt, nur werden die einzelnen Luftſchichten dieſe Oſcillationen um ſo ſpäter beginnen, je weiter ſie vom Kolben entfernt ſind.

Wenn der Kolben ſich aus ſeiner urſprünglichen Lage nach der Rechten bewegt, ſo würde gleichzeitig ein Theil der Luft aus der Röhre hinausgeſchoben werden, wenn die Luft nicht elaſtiſch wäre; weil aber die Luft elaſtiſch iſt, ſo pflanzt ſich die Bewegung nicht momentan fort, und ſo entſteht vor dem Kolben eine Verdichtung, wie dies bei II angedeutet iſt, wo der Kolben ſeine äußerſte Stellung rechts eben erreicht hat, während die Luftſchicht 6 noch in ihrer urſprünglichen Lage iſt, alle zwiſchen dem Kolben und 6 liegenden Luftſchichten aber ſchon nach der Rechten verſchoben ſind.

Weil die Luft zwiſchen dem Kolben und 6 comprimirt iſt, ſo wirkt ſie fortſtoßend auf alle folgenden Luftſchichten; es werden der Reihe nach die Theilchen 6, 7, 8, 9 u. ſ. w. nach der Rechten fortgetrieben, und ſo ſchreitet die Verdichtung in der Röhre von Schicht zu Schicht nach der rechten Seite hin fort.

Bei II ſehen wir, wie das Maximum der Verdichtung zwiſchen dem Kolben und 6 in der Mitte, alſo bei 3 iſt; während aber nun die Verdichtung nach

der Rechten fortschreitet, geht der Kolben zurück, und diese rückgängige Bewegung pflanzt sich der Reihe nach auf die Schichten 1, 2, 3, 4 u. s. w. fort.

Während also, von der Stellung II ausgehend, das Dichtigkeitsmaximum nach der Rechten fortschreitet, indem der Reihe nach die Schichten 6, 7, 8, 9 u. s. w. nach der Rechten gehen, gehen die Theilchen 1, 2, 3 u. s. w. schon wieder nach der Linken, es muß also durch die rückgängige Bewegung des Kolbens eine Verdünnung entstehen, welche, der Verdichtungswelle folgend, gleichfalls nach der rechten Seite hin fortschreitet.

Bei III ist der Moment dargestellt, in welchem der Kolben zum ersten Male einen Hin- und Hergang vollendet hat; die Bewegung ist bis zur Luftschicht 12 fortgeschritten, bei 9 ist die größte Verdichtung, bei 3 die größte Verdünnung.

Durch jedes folgende Hin- und Hergehen des Kolbens wird abermals eine Verdichtungs- und Verdünnungswelle erzeugt, welche der ersten folgt u. s. w.

Jede vollständige Welle besteht aus einer Verdichtung und einer Verdünnung; die Verdichtung entspricht dem Wellenberg, die Verdünnung dem Wellenthal.

IV entspricht dem Augenblicke, wo der Kolben zum zweiten Male hin- und hergegangen ist, wo er also zwei vollständige Wellen erzeugt hat.

Bei V sind drei auf einander folgende Schallwellen dargestellt, die alle gleichförmig vom Kolben aus fortschreiten. An den verdichteten Stellen bewegen sich die Luftschichten in der Richtung vom Kolben weg, an den Verdünnungsstellen gegen den Kolben zu, wie dies durch die Pfeile angedeutet ist.

Die Entfernung zwischen einem Verdichtungsmaximum und dem folgenden, oder zwischen einem Verdünnungsmaximum und dem folgenden ist eine Wellenlänge.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Schallwellen ist von der Zeit unabhängig, während welcher jedes einzelne Theilchen eine Oscillation vollendet; da aber die Wellenlänge die Entfernung ist, um welche die Welle fortschreitet, während eine einzelne Luftschicht eine vollständige Oscillation vollendet, so ist klar, daß die Wellenlänge eines Tones seiner Oscillationsdauer proportional ist. Der doppelten, dreifachen Schwingungsdauer entspricht auch die doppelte, dreifache Wellenlänge.

Bezeichnen wir mit

w die Wellenlänge, d. h. den Weg, um welchen die Welle während einer Oscillation fortschreitet,

s die Schwingungszahl, d. h. die Zahl der Oscillationen, welche der den Ton erzeugende Körper in einer Secunde macht,

so ist der Weg g, um welchen die Welle in einer Secunde fortschreitet,

$$g = w \,.\, s \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

g aber ist nichts anderes als die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles, welche, wie wir im nächsten Paragraphen sehen werden, für hohe und niedere Töne dieselbe ist.

Wir haben hier der Einfachheit wegen die Fortpflanzung der Luftwellen in einer Röhre betrachtet; ganz in derselben Weise pflanzen sich aber auch die Wellen in freier Luft von den oscillirenden Körpern nach allen Seiten hin fort. Sowie sich um die Stelle des Wassers, an welcher der Stein hineingefallen ist, kreisförmige Wellen bilden, so bilden sich um den oscillirenden Körper kugelförmige Luftwellen.

Wir haben nun gesehen, auf welche Weise der Schall (Schall nennen wir alle Wirkungen auf unser Gehörorgan) entsteht und fortgepflanzt wird; die Eindrücke aber, welche unser Gehör empfindet, sind sehr verschiedener Art. Der Schall, welchen man wahrnimmt, wenn durch einen plötzlichen, nicht wiederkehrenden Stoß, etwa durch eine Explosion, eine starke Verdichtung der Luft hervorgebracht wird, heißt *Knall*; der Schall dagegen, welcher durch regelmäßige Oscillationen erzeugt und durch regelmäßig auf einander folgende, einander gleiche Wellen fortgepflanzt wird, heißt *Ton*. Wenn die Wellenbewegung, welche den Schall zum Ohre fortpflanzt, mehr und mehr unregelmäßig wird, so geht der Ton in *Geräusch* über.

Die Töne selbst zeigen aber auch unter sich sehr große Verschiedenheiten, unter denen vor allen die Verschiedenheit zwischen *hohen* und *tiefen* Tönen zu merken ist. Der Ton ist um so höher, je kleiner die Oscillationsdauer des Körpers ist, welcher ihn erzeugt, je kürzer die Luftwellen sind, welche ihn fortpflanzen.

Die *Intensität* der Töne hängt nicht von der Oscillationsdauer und der Wellenlänge, sondern von der *Oscillationsamplitude* ab; je größer die Oscillationsamplitude des tönenden Körpers ist, desto bedeutender ist der Grad der Verdichtung und der nachfolgenden Verdünnung der Luftwellen, welche den Ton fortpflanzen.

Der *Klang*, der *Charakter* der Töne ist weit schwieriger zu definiren als die Intensität; bei gleicher Tonhöhe ist der Charakter des Tones einer Violine sehr von dem einer Flöte verschieden; die Physiker sind über die Ursache dieser Verschiedenheit noch nicht ganz einig, es ist aber sehr wahrscheinlich, daß der Klang von der Ordnung abhängt, in welcher sich die Geschwindigkeiten und die Veränderungen der Dichtigkeit in den verschiedenen zwischen den beiden Enden der Welle liegenden Luftschichten folgen, und daß in vielen Fällen die verdichteten und verdünnten Theile der Welle unsymmetrisch sein können.

104 **Geschwindigkeit des Schalles.** *Alle Töne, welches auch ihre Höhe oder Tiefe, ihre Intensität und ihr Klang sein mag, verbreiten sich in der Luft mit gleicher Geschwindigkeit*, denn wenn verschiedene Beobachter in verschiedenen Entfernungen dasselbe Concert anhören, so hören sie genau denselben Tact, dieselbe Harmonie, was nicht möglich wäre, wenn die höheren Töne gegen die tieferen voraneilten oder zurückblieben.

Während das Licht sich mit einer für irdische Entfernungen kaum meßbaren Geschwindigkeit fortpflanzt, braucht der Schall eine namhafte Zeit, um nur kleine Entfernungen zu durchlaufen; dadurch erklären sich einige Erschei-

nungen, welche man oft zu beobachten Gelegenheit hat. Wenn man einen Steinklopfer aus einiger Entfernung beobachtet, so hört man den Schlag nicht in dem Momente, in welchem man den Hammer aufschlagen sieht, sondern erst, wenn er wieder gehoben wird, was den Eindruck macht, als ob der Schall nicht durch das Aufschlagen des Hammers, sondern durch das Abreißen von dem Steine hervorgebracht würde. Wenn man ein Regiment nach dem Tacte der vorausgetragenen Trommeln marschiren sieht, so beobachtet man eine wellenartige Bewegung, welche sich von den Trommeln aus durch die ganze Reihe fortpflanzt; es erklärt sich dies dadurch, daß nicht Alle gleichzeitig auftreten und den neuen Schritt beginnen, weil die Hinteren den Tactschlag immer später vernehmen als die Vorderen.

Die Geschwindigkeit des Schalles läßt sich auf eine ganz einfache Weise ermitteln; man beobachtet nur, wie viel Zeit zwischen der Wahrnehmung des Blitzes und des Knalles einer in einer bekannten Entfernung vom Beobachter losgebrannten Kanone vergeht. Am besten läßt sich natürlich eine solche Beobachtung des Nachts machen. Die genauesten Versuche der Art wurden von mehreren Gelehrten im Jahre 1822 bei Paris ausgeführt. Die Entfernung zwischen der Kanone und den Beobachtern betrug 9549,6 Toisen (1 Toise = 6 Pariſ. Fuß); zwischen der Beobachtung des Blitzes und des Knalles vergingen 54,6 Secunden, woraus folgt, daß sich der Schall in gewöhnlicher Luft in einer Secunde um 114,9 Toisen = 1049,4 (in runder Zahl 1050) Fuß = 340,88 Meter fortpflanzt, oder es ist für Luft

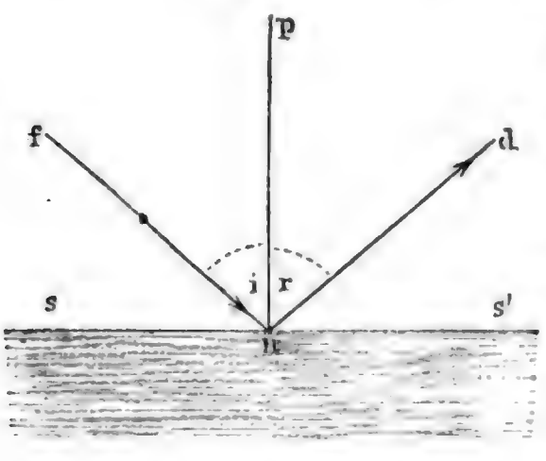
$$g = 1050 \text{ Fuß} = 341 \text{ Meter},$$

wenn g die im vorigen Paragraphen definirte Bedeutung hat.

In anderen Medien ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles nicht dieselbe; in Eisen pflanzt er sich $16^2/_3$, in Wasser $4^1/_4$mal so schnell fort als in Luft.

Von der Reflexion des Schalles und dem Echo. 105 Wenn die Schallwellen aus einem Mittel in ein anderes übergehen, so erleiden sie immer eine theilweise Reflexion; wenn sie aber auf ein festes Hinderniß stoßen, so werden sie fast vollständig reflectirt.

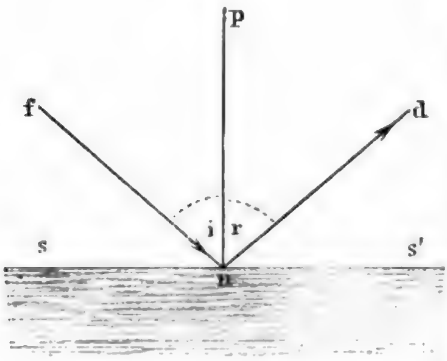
Fig. 213.



Mag nun die Reflexion partiell oder vollständig sein, so ist doch der Reflexionswinkel stets dem Einfallswinkel gleich. Es sei ss', Fig. 213, die Trennungsfläche der beiden Mittel, etwa Luft und Wasser, und eine Schallwelle bewege sich in der Richtung fn gegen die Wasserfläche, so wird ein Theil der Bewegung in das Wasser übergehen, ein anderer Theil aber wird sich in der Richtung nd fortpflanzen, welche mit dem Perpendikel np einen ebenso gro-

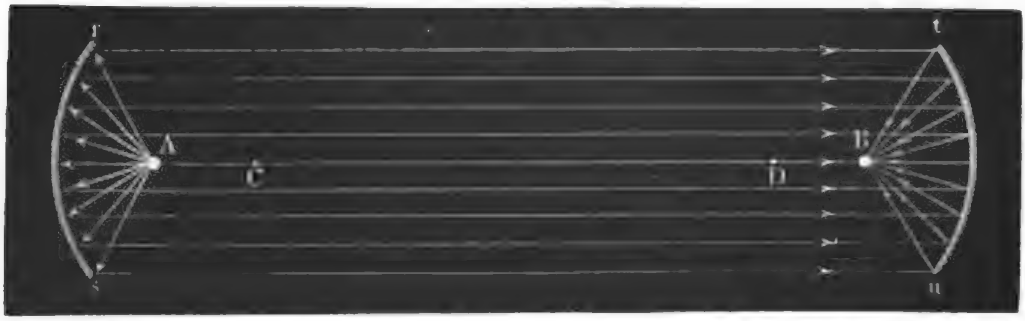
ßen Winkel macht wie $f n$, d. h. der Reflexionswinkel $d n p$ iſt dem Einfallswinkel $f n p$ gleich. Dieſelbe Erſcheinung würde nach demſelben Geſetze ſtattfinden, wenn $s s'$ die Trennungsfläche zweier Gasſchichten von verſchiedener Dichtigkeit oder wenn $s s'$ die Gränzfläche zwiſchen Luft und einem feſten Körper wäre; nur würde in dem letzten Falle der reflectirte Ton weit intenſiver ſein. Ein Beobachter alſo, welcher ſich in irgend einem Punkte der Linie $n d$ befindet, würde den Ton gerade ſo hören, als ob er von n oder einem Punkte der Verlängerung der Linie $d n$ ausginge.

Fig. 214.



Daß die Schallſtrahlen wirklich denſelben Reflexionsgeſetzen folgen, wie die Lichtſtrahlen, ergiebt ſich auch durch Verſuche mit paraboliſchen oder ſphäriſchen Hohlſpiegeln. In Fig. 215 ſeien

Fig. 215.



$r s$ und $t u$ zwei ſphäriſche Hohlſpiegel, welche in einer Entfernung von 10 bis 20 Fuß von einander ſo aufgeſtellt ſind, daß die Achſen derſelben in eine gerade Linie zuſammenfallen. Bringt man nun in den Brennpunkt A des einen Hohlſpiegels eine Taſchenuhr, ſo hört ein im Brennpunkte B des andern befindliches Ohr deutlich das Ticken derſelben, denn alle von A ausgehenden Schallſtrahlen, welche den Hohlſpiegel $r s$ treffen, werden parallel mit der Achſe reflectirt, wie es in unſerer Figur angedeutet iſt; auf den zweiten Spiegel $t u$ treffend, werden ſie aber gegen den Brennpunkt B deſſelben zurückgeworfen und alſo in B wieder vereinigt.

Entfernt man das Ohr aus dem Brennpunkte B, ſo verſchwindet der Schall, ſelbſt wenn man ſich dem Punkte A bedeutend nähert.

Aus der Reflexion des Schalles erklärt ſich auch die Erſcheinung des Echos.

Wenn die Schallwellen rechtwinklig auf die reflectirende Fläche treffen, ſo ſendet das Echo den Ton zu ſeinem Ausgangspunkte zurück. In dieſem Falle kann ein Echo eine größere oder geringere Anzahl von Sylben unter Bedingungen wiederholen, welche leicht zu ermitteln ſind. Wenn man ſchnell ſpricht, ſo

Digitized by Google

kann man in 2 Secunden deutlich 8 Sylben aussprechen, in 2 Secunden durchläuft aber der Schall 2mal 340 Meter; wenn sich also in einer Entfernung von 340 Metern ein Echo befindet, so wird es alle Sylben in gehöriger Ordnung zurückschicken, und die erste wird nach 2 Secunden, d. h. dann zum Beobachter zurückkommen, wenn er eben die letzte ausgesprochen hat. In dieser Entfernung kann also ein Echo 7 bis 8 Sylben wiederholen; es giebt aber auch solche, welche 14 bis 15 Sylben zu wiederholen im Stande sind.

Es ist nicht durchaus nöthig, daß die reflectirende Fläche hart und platt sei, denn man beobachtet auf dem Meere oft, daß Wolken ein Echo bilden.

Vielfache Echos, d. h. solche, welche dasselbe Wort mehrmals wiederholen, entstehen, wenn mehrere, in verschiedenen Entfernungen befindliche Wände den Schall zu seinem Entstehungsorte zurückwerfen, oder auch zwischen zwei parallelen Wänden, von denen jede die Schallwellen, welche von der andern herkommen, auch wieder gegen dieselbe reflectirt.

Durch die Reflexion des Schalles erklären sich auch die Wirkungen des Sprachrohres und des Hörrohres.

Zweites Capitel.

Gesetze der Vibrationen musikalischer Töne.

---

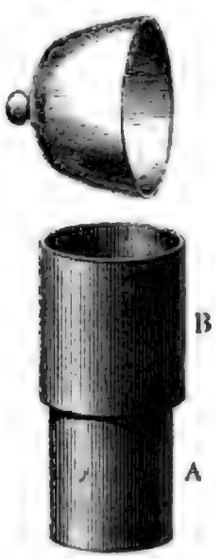
106 Bildung stehender Luftwellen in gedeckten Pfeifen.

Wenn man eine gewöhnliche Stimmgabel (welche den Ton ā giebt) an ihrem Stiele haltend anschlägt, so tönt sie so schwach, daß man sie vor das Ohr halten muß, um den Ton wahrzunehmen. Hält man sie aber über einen Glascylinder von 1 bis $1\frac{1}{2}$ Zoll Weite, Fig. 216, welcher so weit mit Wasser gefüllt ist, daß noch eine Höhe von 194^{mm} frei bleibt, so wird der Ton laut und deutlich.

Diese Verstärkung des Stimmgabeltones verschwindet, wenn man einen Theil des Wassers ausgießt, so daß die Luftsäule im Cylinder höher wird, oder wenn man noch Wasser eingießt, so daß die Luftsäule im oberen Theile des Cylinders merklich niedriger wird als 194^{mm}.

Fig. 216.

Fig. 217.



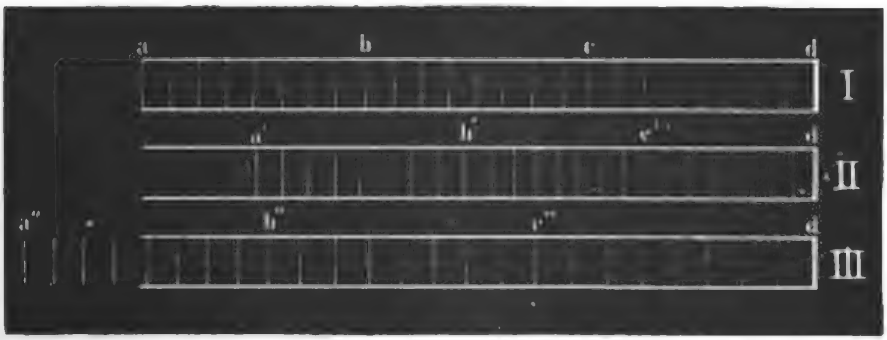
Noch auffallender läßt sich diese Verstärkung des Tones zeigen, wenn man eine durch Streichen mit dem Fiedelbogen zum Tönen gebrachte Käseglocke über eine 5 bis 6 Zoll weite, unten geschlossene Röhre von Pappendeckel hält, Fig. 217, welche eine entsprechende Länge hat. Um diese Länge nach Bedürfniß reguliren zu können, besteht die Röhre aus zwei Theilen, *A* und *B*, von welchen der untere unten geschlossen ist, während die obere, etwas weitere Röhre nach Belieben auf- und abgeschoben werden kann.

Diese Verstärkung des Tones rührt daher, daß die Luftsäule in dem Rohre selbst in den Zustand stehender Schwingungen versetzt und dadurch selbsttönend wird. Damit dies aber möglich sei, muß die Länge der Luftsäule in der Röhre in einem bestimmten Verhältniß zu der Wellenlänge des einfallenden Tones stehen, wie sich dies aus der folgenden Betrachtung ergiebt.

Wenn eine Schallwelle in das offene Ende einer auf der anderen Seite geſchloſſenen Röhre eintritt, ſo wird ſie alsbald an dem Boden der Röhre reflectirt; die reflectirten Wellen begegnen aber den neu eintretenden, und durch das Zuſammenwirken beider Wellenſyſteme werden ſich ſtehende Luftwellen bilden, wenn die Länge der Pfeife in einem geeigneten Verhältniſſe zur Länge der Schallwelle ſteht.

Nehmen wir an, die Länge der Röhre $a\,d$, Fig. 218, ſei $^1/_4$ von der Länge der einfallenden Schallwellen, ſo iſt der Weg von der Oeffnung zum

Fig. 218.



Boden und dann wieder vom Boden bis zur Oeffnung gerade $^1/_2$ Wellenlänge, die einfallende und die reflectirende Welle, welche ſich an der Oeffnung der Röhre begegnen, ſtehen alſo in ihrem Gange um $^1/_2$ Wellenlänge von einander ab; mit einem Dichtigkeitsmaximum der einfallenden Welle trifft alſo hier das Maximum der Verdünnung der reflectirten Welle zuſammen, und umgekehrt; an der Oeffnung der Röhre findet alſo weder Verdichtung noch Verdünnung Statt.

Betrachten wir aber nun den Bewegungszuſtand der einzelnen Luftſchichten.

In dem Augenblick, in welchem gerade das Maximum der Verdichtung in die Oeffnung der Röhre eintritt, tritt das Maximum der Verdünnung aus; in dieſem Moment findet auch am Boden der Röhre weder Verdünnung noch Verdichtung Statt, alle Theilchen ſind in ihrer Gleichgewichtslage. Durch die eintretende Verdichtungswelle aber ſind alle Theilchen gegen den Boden hingetrieben; durch die reflectirte Welle werden ſie nach derſelben Seite bewegt, da ſich ja, wie durch Nr. V in Fig 212 S. 190 erläutert wird, die vibrirenden Luftſchichten im verdichteten Theil der Welle nach der Richtung bewegen, in welcher der Schallſtrahl fortſchreitet, in dem verdünnten Theil der Welle aber in einer Richtung, welche der Fortpflanzungsrichtung des Schallſtrahles entgegengeſetzt iſt.

Alle Luftſchichten in der Röhre bewegen ſich alſo gleichzeitig aus der Gleichgewichtslage gegen den Boden hin, und ebenſo, wenn das Maximum der Verdünnung eintritt, die Gleichgewichtslage paſſirend, gleichzeitig vom Boden weg.

Es iſt dies durch Fig. 218 anſchaulich gemacht.

Wenn alle Luftſchichten in der Röhre gleichzeitig gegen den Boden hin gehen, ſo muß hier eine Verdichtung entſtehen, wie bei Nr. II; wenn ſie von der Gleichgewichtslage aus von dem Boden ſich wegbegeben, ſo muß an demſelben eine Verdünnung ſtattfinden, wie bei Nr. III.

Unſere Zeichnung iſt, um den Hergang ſichtbar zu machen, was die Oſcil-

lationsamplitude angeht, ungeheuer übertrieben, d. h. bei einer Pfeife von der Länge, wie ſie in unſerer Zeichnung dargeſtellt iſt, würde in dem beſprochenen Falle die Luftſchicht, welche in ihrer Gleichgewichtslage an der Oeffnung der Röhre liegt, lange nicht ſo weit in die Röhre ein- und austreten, ſie würde während ihrer Oſcillation nur wenig nach der linken und rechten Seite ſchwanken. Wäre aber die Oſcillationsamplitude nicht ſo groß genommen worden, ſo würden in der Zeichnung ſchwerlich die Unterſchiede der Verdichtung und Verdünnung recht deutlich geworden ſein.

Es hat ſich alſo hier durch die Interferenz der directen und reflectirten Wellen eine *ſtehende* Luftwelle gebildet, denn alle einzelnen Luftſchichten in der Röhre gehen gleichzeitig gegen den Boden hin und gleichzeitig von demſelben weg.

Die Fig. 219, 220, 221 ſollen dazu dienen, die durch eine ſolche ſtehende Luftwelle abwechſelnd hervorgebrachten Verdünnungen und Verdichtungen anſchaulich zu machen. In Fig. 219 iſt die ganze Röhre gleichförmig ſchattirt

Fig. 219.

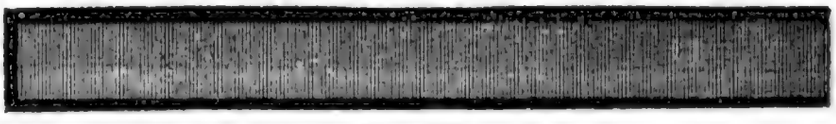


Fig. 220.

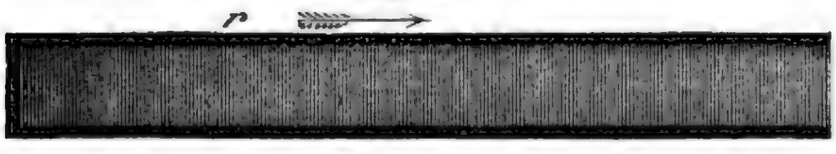
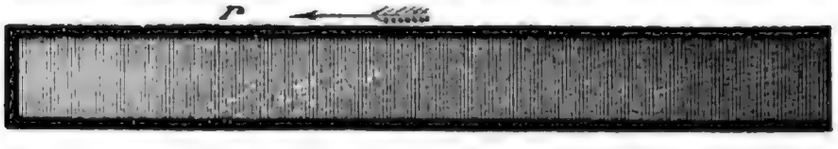


Fig. 221.



und dies entſpricht dem Moment, in welchem die Luft in der ganzen Röhre eine gleichförmige Dichtigkeit hat, dem Augenblick alſo, in welchem alle einzelnen Luftſchichten mit dem Maximum ihrer Geſchwindigkeit ihre Gleichgewichtslage paſſiren. Sind die Theilchen in ihrer Oſcillation gegen das verſchloſſene Ende der Röhre hin an den äußerſten Punkten ihrer Bahn angekommen, ſo findet hier eine Verdichtung Statt, Fig. 220.

Nun beginnen die einzelnen Luftſchichten ſich von dem verſchloſſenen Ende zu entfernen, und nach $^1/_2$ Undulation haben wir hier eine Verdünnung, Fig. 221. Am offenen Ende der Röhre findet in keinem Zeitmomente eine merkliche Verdichtung oder Verdünnung Statt; hier aber bewegen ſich die Luftſchichten zwiſchen den weiteſten Gränzen hin und her.

Die Pfeile in Fig 220 und 221 deuten an, in welcher Richtung die Theilchen ſich zu bewegen beginnen, wenn am Boden eben das Maximum der Verdichtung oder der Verdünnung ſtattfindet.

Würde nun in die Röhre, etwa bei *r*, ein Loch gemacht, ſo würde dadurch die Bildung der ſtehenden Welle geſtört, wenn nicht ganz verhindert werden

weil im Momente der Verdichtung hier Luft entweichen, im Momente der Verdünnung aber Luft einströmen würde. Der störende Einfluß einer solchen Oeffnung würde aber an solchen Stellen, welche dem offenen Ende näher liegen, geringer sein, weil hier die Verdünnung sowohl als die Verdichtung geringer ist.

Denselben störenden Einfluß, den eine Oeffnung hervorbringt, würde auch ein Abschneiden der Röhre an diesen Stellen zur Folge haben.

Die Bildung einer stehenden Luftwelle in der Röhre ist also an bestimmte Verhältnisse zwischen der Länge der Röhre und der Wellenlänge des einfallenden Tones gebunden; in dem bisher betrachteten Falle war die Länge der Röhre $^1/_4$ von der Wellenlänge des einfallenden Tones; es können sich aber auch noch bei anderen Verhältnissen zwischen Röhren- und Wellenlänge stehende Luftwellen in der Röhre bilden.

Zur Bildung der stehenden Welle in der Röhre ist erforderlich, daß dicht bei dem Boden die Oscillationsamplituden verschwindend klein werden, daß aber hier abwechselnde Verdünnungen und Verdichtungen stattfinden, während am offenen Ende der Röhre keine merkliche Verdichtung und Verdünnung stattfindet; an der Oeffnung der Röhre muß also stets der verdichtete Theil der reflectirten Welle mit dem verdünnten Theile der einfallenden Welle zusammenfallen, und umgekehrt.

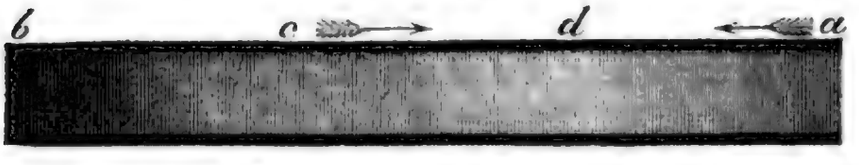
Dieser Bedingung wird dadurch allerdings entsprochen, daß die Oeffnung der Röhre um $^1/_4$ Wellenlänge von dem Boden entfernt ist, aber auch dadurch, daß die Entfernung der Oeffnung von dem Boden $^3/_4$, $^5/_4$, $^7/_4$ u. s. w. Wellenlängen beträgt.

Die Figuren 222 bis 224 sollen die stehenden Luftwellen anschaulich machen, welche sich in einer Röhre bilden, deren Länge $^3/_4$ von der Länge der einfallenden Schallwellen beträgt.

Fig. 222.

Fig. 223.

Fig. 224.



In Fig. 222 sehen wir ein Maximum der Verdichtung in d, ein Maximum der Verdünnung am Boden der Röhre bei b; alle links von d liegenden Luftschichten beginnen gleichzeitig ihre Bewegung nach der durch den Pfeil angedeuteten Richtung, während die rechts von d gelegenen Luftschichten nach der Rechten hin sich zu bewegen beginnen.

Nach $^1/_4$ Undulation haben die einzelnen Schichten eine solche Stellung erreicht, daß in der ganzen Röhre die Luft eine gleichförmige Dichtigkeit hat, was durch Fig. 223 dargestellt sein soll; in der angegebenen Richtung sich fortbewegend, wird abermals nach $^1/_4$ Undulation der in Fig 224 dargestellte Zustand eintreten; jetzt ist bei b die größte Verdichtung, bei d die größte Verdünnung.

Von diesem Momente an beginnen die einzelnen Luftschichten wieder sich gegen d hin zu bewegen, und so tritt dann nach $^1/_2$ Undulation wieder der Zustand Fig. 222 ein.

Die Luftschichten, welche rechts und links von d liegen, bewegen sich entweder gleichzeitig von d weg, oder gleichzeitig nach d hin, während d keine Bewegung hat; die Luftschicht d bildet also einen Schwingungsknoten.

Die Stellen bei c und a, wo weder Verdünnung noch Verdichtung stattfindet, während die Luftschichten gerade hier mit der größten Amplitude schwingen, heißen Bäuche.

107 **Orgelpfeifen.** Um die Luft in einer Röhre in stehende Schwingungen zu versetzen, um sie also zum Selbsttönen zu bringen, ist nicht gerade nöthig, einen tönenden Körper vor die Oeffnung zu bringen, wie dies ja die Orgelpfeifen zeigen. Hier ist es ein am offenen Ende der Röhre vorbeiströmender an ihren Rändern sich brechender Luftstrom, welcher durch seine Stöße Wellen erzeugt, die, an dem Boden reflectirt, mit den neu einfallenden interferiren, so daß sich regelmäßige stehende Schwingungen bilden, wodurch dann die Luft in der Röhre selbsttönend wird.

Die Töne, welche eine Röhre auf diese Weise geben kann, sind dieselben wie diejenigen, welche ein anderer tönender Körper geben muß, wenn er, vor die Oeffnung der Röhre gebracht, die Luft in derselben zum Selbsttönen bringen soll.

Die einfachste Art, die Luft in einer kleineren Röhre zum Tönen zu bringen, ist die, daß man sie in verticaler Richtung vor den Mund hält, das geschlossene Ende nach unten gekehrt, während das offene Ende an die untere Lippe gehalten wird, und dann schräg gegen den Rand der Röhre bläst.

Die Töne sind natürlich um so höher, je kürzer die Pfeife ist.

Die Einrichtung der Orgelpfeifen ist aus Fig. 225 und 226 zu ersehen. Man unterscheidet an ihnen den Fuß, den Mund und die Röhre.

In Fig. 226, welche eine Zinnpfeife darstellt, ist der Fuß mit $F\,F$, die Röhre mit $R\,R$ bezeichnet. Die Röhre hat an ihrem unteren Ende vorn eine Oeffnung $a\,b$, welche der Mund genannt wird. Fuß und Röhre sind durch eine dünne Zinnplatte getrennt; zwischen der vorderen Kante dieser Platte, welche den Boden der Schallröhre bildet, und der vorderen Wand des Fußes bleibt eine schmale Spalte, durch welche die unten in den Fuß eingeblasene Luft austritt und, sich an der oberen Kante des Mundes brechend, die Luftsäule in der Röhre $R\,R$ in stehende Schwingungen versetzt.

Die Einrichtung der hölzernen Orgelpfeifen ist aus dem Durchschnitt,

Fig. 225.

Fig. 226.

Fig 225, zu erſehen. Die in den Fuß eingeblaſene Luft dringt aus dem Behälter K durch einen ſchmalen Spalt cd hervor, und bricht ſich an der oberen Kante ab des Mundes, von welchem unſere Figur nur die linke Hälfte $abcd$ zeigt.

Eine und dieſelbe gedeckte Pfeife kann mehrere Töne geben. Der tiefſte derſelben, der Grundton, iſt derjenige, deſſen Wellenlänge 4mal ſo groß iſt als die Länge der Röhre; die höheren Töne, welche die Pfeife giebt, die Obertöne ſind diejenigen, welche einer 3mal, 5mal u. ſ. w. kürzeren Wellenlänge entſprechen. Die Obertöne werden alſo durch ſtehende Schwingungen erzeugt, welche eine 3mal, 5mal u. ſ. w. kürzere Oſcillationsdauer haben als der Grundton der Pfeife.

Den tiefſten Ton giebt die Pfeife bei ſchwächerem, die höheren bei ſtärkerem Winde.

Offene Pfeifen werden ſolche genannt, welche an beiden Seiten offen ſind. In der Mitte einer Röhre kann eine ſtärkere Verdichtung der Luft ſtattfinden als am Ende derſelben, weil hier die Luft nicht nach der Seite hin ausweichen kann. Wenn nun der verdichtete Theil einer Welle am offenen Ende der Röhre ankommt, ſo werden beim Austritt aus der Röhre die Luftſchichten leicht nach allen Seiten hin ausweichen und dadurch wird eine Verdünnung entſtehen, welche nun, gleichſam von dem offenen Ende der Röhre reflectirt, dieſelbe in entgegengeſetzter Richtung durchläuft, und ſo bilden ſich denn auch hier die ſtehenden Wellen. **108**

Die rückkehrende Welle iſt natürlich nicht ſo intenſiv wie die urſprüngliche.

Da an dem offenen Ende der Röhre ſtets eine Verdichtung mit einer

Verdünnung zuſammenfällt, ſo muß hier nothwendig ein Bauch entſtehen; Schwingungsknoten können ſich nur im Inneren der Röhre bilden.

Wenn dem Tone des Körpers, durch welchen man die Luft in der Röhre zum Selbſttönen bringen will, eine Wellenlänge l zukommt, ſo iſt die Länge der kürzeſten offenen Röhre, welche durch dieſen Ton angeſprochen wird, $\frac{l}{2}$, d. h. die Röhre iſt halb ſo lang als die Wellenlänge ihres Grundtones.

Wenn alſo die tiefſten Töne einer offenen und einer gedeckten Pfeife gleich ſein ſollen, ſo muß die offene Pfeife doppelt ſo lang ſein als die gedeckte.

Für den tiefſten Ton einer offenen Röhre befindet ſich ein Schwingungsknoten in der Mitte ihrer Länge, ein Bauch aber an jedem Ende, wie dies Fig. 227 und 228 anſchaulich gemacht iſt. Fig. 227 ſtellt den Moment

Fig. 227.

Fig. 228.

dar, wo in der Mitte der Röhre die größte Verdichtung ſtattfindet; während die Luftſchicht in der Mitte der Röhre in Ruhe bleibt, beginnt die Luft auf beiden Seiten ſich von der Mitte zu entfernen, wie dies durch die Pfeile angedeutet iſt; nach einer halben Undulation findet in der Mitte der Röhre das Maximum der Verdünnung Statt, Fig. 228, und nun beginnen die einzelnen Luftſchichten von beiden Seiten her ſich gegen die Mitte hin zu bewegen.

Der nächſt höhere Ton der offenen Röhre iſt derjenige, für welchen ſich ein Bauch in der Mitte der Röhre, Knoten aber in den Punkten a und b, Fig 229 und Fig. 230, bilden, welche um $^1/_4$ der Röhrenlänge von den Enden abſtehen. Wenn in a ein Maximum der Verdichtung ſtattfindet, ſo findet in b eine Verdünnung Statt und umgekehrt.

Fig. 229.

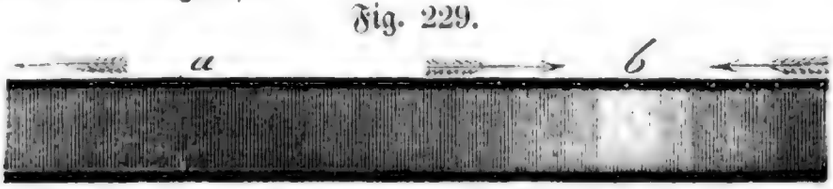


Fig. 230.

Für den eben beſprochenen Fall iſt die Wellenlänge des Tones der Länge der Röhre gleich; die Oſcillationsdauer dieſes Tones iſt halb ſo groß als die des Grundtones der Röhre.

Der dritte Ton, welchen die offene Röhre giebt, iſt derjenige, deſſen Wellen-

länge $1^1/_2$mal in der Röhrenlänge enthalten ist; für diesen Ton bilden sich drei Schwingungsknoten, von denen einer in der Mitte liegt, während jeder der anderen um $^1/_6$ der Röhrenlänge oder $^1/_4$ der Länge der sich bildenden Schallwelle von einem Ende absteht.

Bezeichnen wir die Länge einer offenen Röhre mit l, so sind die Wellenlängen der Töne, welche sie geben kann:

$$2\,l,\ ^2/_2\,l,\ ^2/_3\,l \text{ u. s. w.,}$$

während

$$4\,l,\ ^4/_3\,l,\ ^4/_5\,l \text{ u. s. w.}$$

die Wellenlängen der Töne sind, welche eine gedeckte Pfeife von der Länge l geben kann.

Wenn man an verschiedenen Stellen einer Orgelpfeife Löcher macht, die man nach Belieben durch einen Schieber verschließen oder öffnen kann, so kann man zeigen, daß der Ton durchaus nicht geändert wird, wenn man ein Loch öffnet, welches sich an der Stelle eines Bauches befindet, was jedesmal der Fall ist, wenn ein Loch an einer anderen Stelle geöffnet wird.

Die musikalischen Töne. Nachdem wir nun ein Mittel kennen ge- **109**
lernt haben, reine Töne hervorzubringen, nämlich durch Orgelpfeifen, nachdem wir gesehen haben, wie die Höhe und Tiefe dieser Töne von der Länge der Pfeifen abhängt, und daß man also durch Verlängerung und Verkürzung der Röhren die Pfeifen beliebig stimmen kann, wollen wir nun die Tonreihe näher betrachten, welche in der Musik zur Anwendung kommt.

Gehen wir von dem Tone aus, den eine 4 Fuß lange gedeckte Pfeife als Grundton giebt; es ist dies ein Ton, welcher in der Musik mit C bezeichnet wird.

Fragen wir nach denjenigen Tönen, die mit C zusammen einen angenehmen Eindruck auf das Ohr hervorbringen, so finden wir, daß es solche sind, deren Oscillationsgeschwindigkeit in einem einfachen Verhältnisse zu der von C steht; es sind dies diejenigen Töne, deren Wellenlänge $^1/_2$, $^2/_3$, $^3/_4$, $^4/_5$, $^5/_6$ von der des Tones C beträgt, die also durch solche Pfeifen hervorgebracht werden, deren Länge $^1/_2$, $^2/_3$, $^3/_4$, $^4/_5$, $^5/_6$ von der Länge der Pfeife C ist.

Da die Oscillationsdauer der Wellenlänge proportional ist, da sich also die Zahl der Schwingungen, welche ein Ton in einer Secunde macht, umgekehrt verhält, wie seine Wellenlänge, so macht also der erste der erwähnten Töne 2 Schwingungen, während C eine macht; dieser Ton heißt die Octav von C und er wird mit c bezeichnet.

Der Ton, dessen Wellenlänge $^2/_3$ von der des Tones C beträgt, macht 3 Oscillationen, während C deren 2 macht; dieser Ton ist die Quint von C und wird mit G bezeichnet.

Der Ton, dessen Wellenlänge $^3/_4$ von der des Tones C ist, macht 4 Schwingungen, während C deren 3 macht, er wird die Quart von C genannt und mit F bezeichnet.

Der Ton, dessen Wellenlänge $^4/_5$ von der des Tones C ist, macht 5 Schwingungen, während C deren 4 macht, es ist die große Terz von C und wird mit E bezeichnet.

Der zuletzt erwähnte Ton, deſſen Wellenlänge $^5/_6$mal ſo groß iſt als die von C, macht 6 Schwingungen, während C deren 5 vollendet: es iſt dies die kleine Terz von C, ſie wird mit Es bezeichnet.

Ebenſo wie C ſeine Octav, Quint, Quart, große und kleine Terz hat, ſo giebt es auch eine Octav, Quint, Quart, große und kleine Terz von c.

Der Grundton C mit ſeiner großen Terz E, ſeiner Quint G und ſeiner Octav c bilden den Cdur-Accord.

Nach den eben angegebenen Verhältniſſen machen gleichzeitig

C	E	F	G	c
24	30	32	36	48

Schwingungen.

Um die Reihe der Töne gehörig zu vervollſtändigen, müſſen nun aber E, F und G ebenſo ihre Accorde, alſo ihre Terz und Quint haben wie C.

Die Quint von G iſt ein Ton, welcher 3 Schwingungen macht, während G deren 2 vollendet: auf 36 Schwingungen von G gehen alſo 54 Schwingungen ſeiner Quint, die wir mit d bezeichnen wollen; die nächſt tiefere Octav von d wird mit D bezeichnet; ſie macht 27 Schwingungen, während G 36 und C 24 macht.

Die große Terz von G, die man mit H bezeichnet, muß 5 Schwingungen machen, während G 4 vollendet; auf 36 Oſcillationen von G gehen alſo 45 Oſcillationen von H.

Da ſich 24 zu 36 (C zu G) verhält wie 32 zu 48 (F zu c), ſo iſt c, die Quint von F.

Die große Terz von F muß 5 Schwingungen machen, während F ſelbſt deren 4 vollendet, auf 32 Oſcillationen von F gehen alſo 40 Oſcillationen ſeiner großen Terz, die mit A bezeichnet wird.

So haben wir denn eine Reihe von Tönen, welche den Namen der diatoniſchen Tonleiter führt. Es machen gleichzeitig

C	D	E	F	G	A	H	c	d	e	u. ſ. w.
24	27	30	32	36	40	45	48	54	60	

Schwingungen.

Die Differenzen zwiſchen je zwei auf einander folgenden Tönen dieſer Reihe ſind nicht gleich. In der folgenden Reihe giebt der zwiſchen je zwei Buchſtaben etwas tiefer geſetzte Bruch an, um den wievielſten Theil die Oſcillationsgeſchwindigkeit des nächſtniedrigeren Tones, die des folgenden, größer iſt:

C	D	E	F	G	A	H	c;
$^1/_8$	$^1/_9$	$^1/_{15}$	$^1/_8$	$^1/_9$	$^1/_8$	$^1/_{15}$	

in gleichen Zeiten macht alſo D $1^1/_8$mal ſo viel Schwingungen als C, E $1^1/_9$mal ſo viel als D, F $1^1/_{15}$mal ſo viel als E u. ſ. w.

Das Intervall von C zu D, von D zu E, von F zu G, von G zu A, von A zu H heißt ein ganzer Ton. Man unterſcheidet aber große ganze Töne, wenn das Intervall $^1/_8$, und kleine, wenn es $^1/_9$ beträgt.

Die Intervalle zwischen E und F, zwischen H und c sind nahe halb so groß wie die übrigen, sie werden deshalb halbe Töne genannt.

Wenn man, von irgend einem der anderen Töne ausgehend, in derselben Ordnung von Intervallen fortschreitet, so erhält man auf diese Weise die verschiedenen Dur-Tonleitern; um aber ein Fortschreiten in derselben Ordnung von Intervallen von jedem Tone aus möglich zu machen, müssen noch zwischen C und D, D und E, F und G, G und A, A und H halbe Töne eingeschaltet werden, die mit *cis*, *dis*, *fis* u. s. w. bezeichnet werden. Eine nach lauter halben Tönen fortschreitende Tonleiter wird eine chromatische genannt.

Bei den Dur-Tonarten geht man vom Grundtone zur großen Terz, und dann, um eine kleine Terz fortschreitend, zur Quint über, bei den Moll-Tonarten hingegen ist der Accord durch den Grundton, die kleine Terz und die Quint gebildet.

Eine nähere Besprechung der Tonarten und Tonleitern gehört mehr in die Theorie der Musik als hierher.

Wenn der Grundton eine Schwingung in einer bestimmten Zeit macht, so muß die große Terz in derselben Zeit $^5/_4$, die große Terz dieses Tones $^5/_4 . {}^5/_4$ oder $^{25}/_{16}$ und die Terz dieses Tones endlich $^5/_4 . {}^5/_4 . {}^5/_4$ oder $^{125}/_{64}$ Schwingungen machen. Der letztere Ton stimmt nun nicht genau mit der Octav des Grundtones überein, welcher $^{128}/_{64}$ entsprechen; wenn man also in reinen Terzen fortschreitet, so kommt man nicht zu der reinen Octav, und will man die Reinheit der Octaven erhalten, so muß man von der vollkommenen Reinheit der Terzen abstrahiren. Aehnliches ergiebt sich beim Fortschreiten nach reinen Quinten. Man ist deshalb, um die Reinheit der Octaven zu erhalten, genöthigt, in der Musik die Töne etwas höher oder tiefer zu stimmen, als es die reinen Terzen oder Quinten verlangen; man muß, wie die Musiker sagen, den Ton etwas oberhalb oder unterhalb schweben lassen. Diese Ausgleichung nennt man die Temperatur. Bei der gleichschwebenden Temperatur werden die Intervalle der 12 halben Töne einer Octav einander gleich, also $= \sqrt[12]{2}$ gemacht.

Wenn unser Ohr empfindlicher wäre, so würde es durch die erwähnte Unreinheit der Terzen und Quinten unangenehm afficirt werden, es würde kaum ein musikalischer Genuß möglich sein.

Nach den Bezeichnungen, welche wir in diesem Paragraphen kennen gelernt haben, können wir nun auch die verschiedenen Töne benennen, welche eine und dieselbe Röhre giebt. Die Obertöne einer gedeckten Pfeife sind die Quint der Octav, und die große Terz der zweiten Octav des Grundtones. Für eine offene Pfeife dagegen sind die Obertöne, die Octav und die Quint der Octav des Grundtones.

Schwingungszahl der musikalischen Töne. 110

Aus Gleichung 1) Seite 191 ergiebt sich

$$s = \frac{g}{w},$$

wir finden also die Schwingungszahl eines Tones, wenn wir seine Fortpflanzungsgeschwindigkeit durch seine Wellenlänge (in demselben Mittel) dividiren.

Für Luft ist, wie wir in §. 104 gesehen haben, $g = 1050$, wir haben also

$$s = \frac{1050}{w}.$$

Die Wellenlänge eines Tones in der Luft ist aber nach §. 106 gleich der 4fachen Länge der gedeckten Pfeife, welche ihn (als ihren Grundton) giebt.

Der tiefste Ton, welcher in der Musik zur Anwendung kommt, ist der Grundton einer gedeckten 16 Fuß langen Orgelpfeife. Für diesen Ton ist also $w = 64$ Fuß, also seine Schwingungszahl

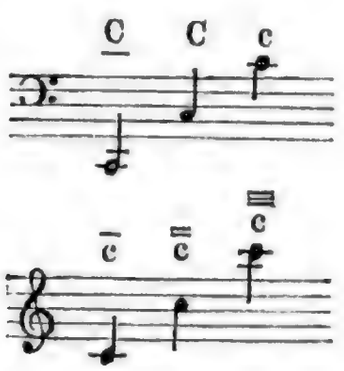
$$s = \frac{1050}{64} = 16{,}5.$$

Im Ganzen umfaßt die Musik 9 Octaven. Der erwähnte tiefste Ton einer 16füßigen gedeckten Pfeife wird mit $\underline{\underline{C}}$ bezeichnet.

Da dieser Ton nun 16,5 Schwingungen in der Secunde macht, so ist Folgendes die Schwingungszahl der auf einander folgenden Octaven dieses Tons:

$\underline{\underline{C}}$	16,5
$\underline{C}$	33
C	66
c	132
$\overline{c}$	264
$\overline{\overline{c}}$	528.

Mit unseren Noten werden die Töne folgendermaßen bezeichnet:



111 Töne gespannter Saiten. Die wichtigsten Gesetze der Schwingungen gespannter Saiten sind folgende:

1) Die Schwingungszahl einer Saite verhält sich umgekehrt wie ihre Länge, d. h. wenn eine Saite, die auf irgend ein Instrument, wie einer Violine, einer Guitarre u. s. w., aufgespannt ist, in einer gegebenen Zeit eine bestimmte Anzahl von Schwingungen macht, so macht sie in derselben Zeit 2=, 3=, 4mal u. s. w. so viel Schwingungen, wenn man bei unveränderter Spannung nur $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$ u. s. w. der ganzen Länge schwingen läßt.

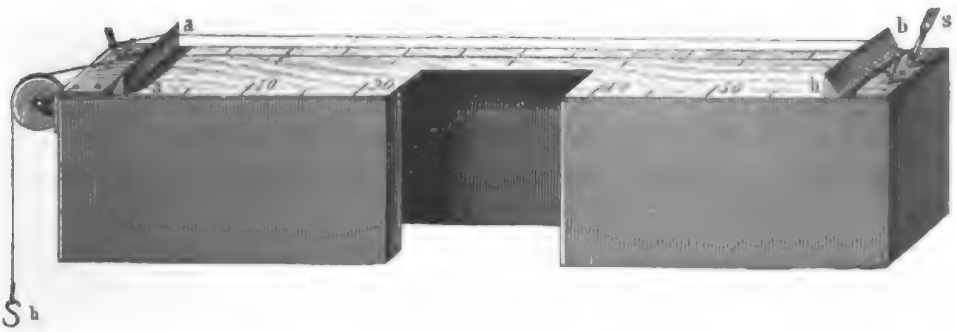
2) Die Zahl der Schwingungen einer Saite ist der Quadratwurzel aus den spannenden Gewichten proportional, d. h. wenn das Gewicht, welches die Saite spannt, 4=, 9=, 16mal so groß gemacht wird, wäh-

rend die Länge unverändert bleibt, so wird die Geschwindigkeit der Schwingungen 2-, 3-, 4mal so groß.

3) Die Schwingungszahlen verschiedener Saiten derselben Materie verhalten sich umgekehrt wie ihre Dicke. Wenn man z. B. zwei Stahlsaiten von gleicher Länge nimmt, deren Durchmesser sich wie 1 zu 2 verhalten, so wird die dünnere bei gleicher Spannung in derselben Zeit doppelt so viel Schwingungen machen als die dickere. Für Darmsaiten ist dieses Gesetz wohl nicht immer genau wahr, weil das Material derselben nicht immer hinlänglich gleich ist.

Um die wichtigsten Gesetze der Oscillationen der gespannten Saiten und ihrer Töne durch den Versuch nachzuweisen, bedient man sich eines Instrumentes, welches reine Töne giebt und welches erlaubt, die Länge der Saiten mit Genauigkeit zu messen. Dieses Instrument heißt Monochord, obgleich es in der Regel mit mehr als einer Saite versehen ist. Fig. 231 stellt ein solches Monochord mit zwei Saiten dar.

Fig. 231.



Die beiden Saiten sind über einen Kasten ausgespannt, der in unserer Figur so gezeichnet ist, als ob ein Stück aus demselben herausgeschnitten wäre; er besteht aus vier starken Seitenbrettern, auf welche oben der Resonanzboden, d. h. ein ganz dünnes Brett von Tannenholz, geleimt ist, dessen Bedeutung später erläutert werden wird. Die beiden Stege $a\,a$ und $b\,b$ begränzen den frei schwingenden Theil der Saiten. Die eine derselben wird durch Gewichte gespannt, welche man an den Haken h hängt, die andere dagegen durch den Stimmstock s.

Betrachten wir zuerst den Zusammenhang, welcher zwischen der Spannung der Saite und der Tonhöhe besteht.

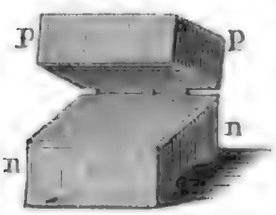
Wenn für ein Gewicht 1000 (etwa 1000 Gramm), welches an den Haken h gehängt wird, die Saite einen bestimmten Ton giebt, den wir mit c bezeichnen wollen, so muß man

das Gewicht 1562,5 anhängen, um die große Terz,
„ „ 2250 „ „ „ Quint,
„ „ 4000 „ „ „ Octav

von c zu erhalten. Nun verhalten sich aber die Zahlen 1000 : 1562,5 : 5250 : 4000 zu einander wie $1 : \frac{25}{16} : \frac{9}{4} : 4$, oder wie die Quadrate von $1 : \frac{5}{4} : \frac{3}{2} : 2$, wodurch der Satz unter Nr. 2 bewiesen ist.

Um das Gesetz unter Nr. 1 experimentell zu bestätigen, ist es bequemer, die zweite Saite anzuwenden. Man kann dieselbe entweder ihrer ganzen Länge nach oder nur einen Theil ihrer Länge schwingen lassen, indem man den beweglichen Steg, Fig. 232, unter eine bestimmte Stelle der Saite hinschiebt und durch Aufdrücken des Deckels $p\,p$ ein entsprechendes Stück der Saite abgränzt.

Fig. 232.



Von dem Grundton, welchen die Saite giebt, wenn man sie ihrer ganzen Länge nach schwingen läßt, erhält man:

die große Terz, wenn der frei schwingende Theil $^4/_5$,
die Quint, „ „ „ „ „ $^2/_3$,
die Octav, „ „ „ „ „ $^1/_2$

der ganzen Saitenlänge beträgt.

112 Gesetze der Vibrationen von Streifen und Stäben.

Unter elastischen Stäben verstehen wir starre Körper von solcher Form, daß ihre Länge bedeutend vorherrscht gegen ihre Breite und Dicke, welche aber doch noch breit und dick genug sind, um auch ohne Spannung zu vibriren und zu tönen.

Die Schwingungsweise und die Töne elastischer Stäbe hängen wesentlich davon ab, auf welche Weise sie befestigt sind. Seiner ganzen Länge nach, ohne Schwingungsknoten kann ein elastischer Stab schwingen, wenn er am einen Ende befestigt, am anderen frei ist. Diese Schwingungsweise erläutert am einfachsten ein Stahlstreifen (etwa ein Stück eines Sägeblattes), welches in der Weise in einen Schraubstock eingeklemmt ist, wie Fig. 233 zeigt. Dieser Art sind auch die Schwingungen, welche jeder der beiden Schenkel einer tönenden Stimmgabel macht.

Legt man einen Stahlstab, wie Fig. 234 zeigt, über zwei gespannte Schnüre, so giebt er, mit einem hölzernen Hämmerchen angeschlagen, einen vollen Ton; dabei theilt sich der Stab so in vibrirende Abtheilungen, wie Fig. 235 andeutet. Jeder der beiden Schwingungsknoten ist um $^1/_5$ der ganzen Stablänge von dem einen Stabende entfernt. Die Lage dieser Schwingungsknoten kann man durch Sand zeigen, welchen man auf den Stahlstab streut.

Nach diesem Principe ist auch die bekannte Glasharmonika construirt.

Für Stäbe, welche in gleicher Weise vibriren, ist die Schwingungszahl dem Quadrate der Stablänge umgekehrt und der Dicke (in der Richtung der

Vibrationen) direct proportional, während die Breite des Stabes für die Tonhöhe ohne Einfluß ist.

Fig. 233.

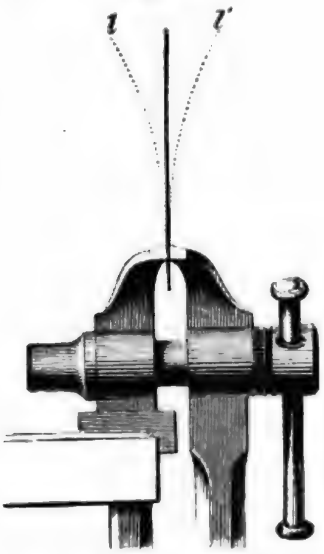


Fig. 234.

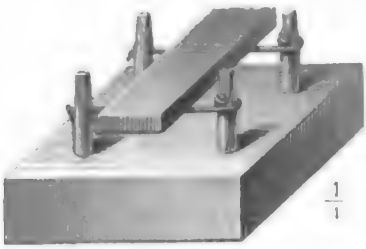
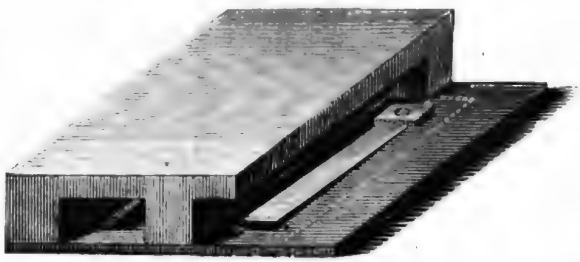


Fig. 235.

Von den Zungenpfeifen. Eine Zunge ist im Allgemeinen ein vi- 113
brirendes Plättchen, welche durch einen Luftstrom in Bewegung gesetzt wird. Es stelle Fig. 236 eine Platte von Metall dar; in derselben sei eine rechteckige Oeffnung $a\,b\,c\,d$, und über derselben sei ein dünnes und sehr elastisches Messingplättchen l angebracht, wie die Figur zeigt. Dies Plättchen l kann vibriren, indem es an den Rändern $a\,b$, $b\,c$ und $c\,d$ hinstreift. Man hat auf diese Weise ein ganz einfaches Zungenwerk, und um es in Bewegung zu setzen, braucht man nur die Rückseite der Platte auf die Lippen zu setzen und so zu blasen, daß der Wind gegen das freie Ende der Zunge l gerichtet ist. Der Luftstrom versetzt sie in Schwingungen, die Oeffnung wird abwechselnd frei und geschlossen; bald strömt die Luft aus, bald ist der Strom gehemmt; auf diese Weise entsteht ein Ton, dessen Höhe von der Anzahl der Vibrationen abhängt, welche die Zunge l je nach ihren Dimensionen und ihrer Elasticität in einer

Fig. 236.

Fig. 237.



gegebenen Zeit machen kann. Der Ton ist derselbe, als ob die Zunge durch mechanische Mittel in Schwingungen versetzt würde, nur ist er bei weitem intensiver. Wenn man auf einer und derselben Platte mehrere solcher Streifen be-

feſtigt, welche die auf einander folgenden Töne einer Tonleiter geben, ſo kann man auf dieſe Weiſe ein Inſtrument machen, welches geeignet iſt, um darauf Melodien zu ſpielen.

Die Töne der bekannten Mundharmonika werden durch ſolche Zungenpfeifen hervorgebracht. Die Einrichtung der Mundharmonika iſt aus Fig. 237 (a. v. S.) zu erſehen. Die Metallplatte mit den Zungen iſt an einer Holzplatte befeſtigt, welche mit einer Reihe von Höhlungen verſehen iſt, deren jede über eine Zunge zu liegen kommt. Wenn man mit dem Mund vorn in dieſe Höhlung einbläſt, ſo kann die Luft nur durch die Oeffnungen entweichen, welche durch die vibrirenden Zungen bald geöffnet, bald wieder geſchloſſen werden.

Die Blasbalgharmonika hat im Weſentlichen dieſelbe Einrichtung, nur wird der Wind nicht durch den Mund, ſondern durch einen Blaſebalg gegeben. Hierher gehören auch die Zungenwerke unſerer Orgeln, deren Einrichtung durch Fig. 238 und 239 erläutert wird. In dem durchbohrten hölzernen Stopfen s, Fig. 239, iſt unten eine Rinne r von Meſſingblech befeſtigt, deren Querſchnitt ungefähr einen Halbkreis bildet, und welche den Namen der Canile führt. Oben iſt dieſe Rinne offen, unten iſt ſie geſchloſſen, und ihre ſeitliche Oeffnung wird durch die elaſtiſche Platte l bedeckt, welche, bei ihrer Vibration auf die Ränder der Rinne aufſchlagend, dieſelbe vollſtändig verſchließt und dann wieder zurückſchwingend einen Luftſtrom in die Canile eindringen läßt.

Fig. 238.

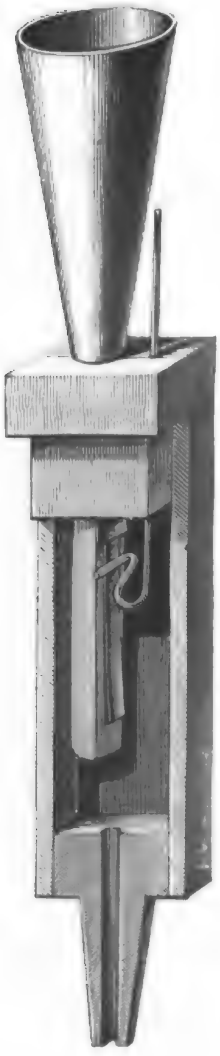
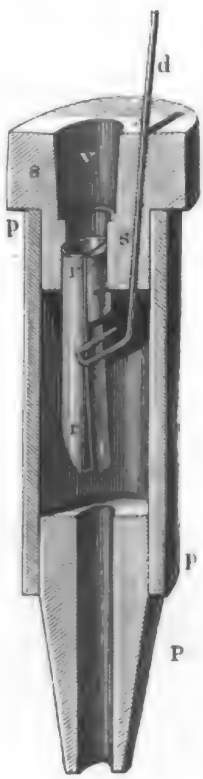


Fig. 239.



Der Stopfen s mit der Canile r und der Zunge l wird nun in das kurze Rohr pp eingeſetzt, in welches man von unten her den Wind einblaſen kann. Sobald dies geſchieht, beginnt die Zunge l zu vibriren, es wird alſo in den durch die Zunge bedingten Intervallen ein Luftſtrom aus dem Inneren der Röhre p durch die Canile und die Höhlung v hervordringen, um dann ſogleich wieder unterbrochen zu werden. Durch dieſes ſtoßweiſe Vordringen des Luftſtroms aus der Höhlung v wird nun der Ton erzeugt, zu deſſen Verſtärkung man noch ein kegelförmiges Rohr, den Schallbecher, aufſetzt, wie man es Fig. 238 ſieht.

Das Zungenwerk, Fig. 238, unter-

scheidet sich von dem in Fig. 239 dargestellten nur dadurch, daß die Zunge nicht auf die Ränder der Canile aufschlägt, sondern daß die vordere Seite derselben durch eine ebene Metallplatte geschlossen ist, welche eine rectanguläre Oeffnung hat, in welcher die Zunge in gleicher Weise spielt, wie bei der Mundharmonika Fig. 237 (durchschlagende Zunge).

Durch Aufziehen oder Niederdrücken des Stimmdrahtes *d*, dessen unteres horizontal umgebogenes Ende die Zunge gegen die Canile andrückt, kann man die Länge des vibrirenden Theils der Zunge vergrößern oder verkleinern und dadurch die Tonhöhe abändern.

Wenn gar kein Schallbecher oder doch nur eine kurze Röhre auf das Zungenwerk aufgesetzt ist, so hängt die Schwingungsgeschwindigkeit der Zunge, also der Ton, den sie giebt, von ihrer Elasticität und von ihren Dimensionen ab; wenn aber eine lange Röhre aufgesetzt wird, so modificirt diese den Ton wesentlich; die Bewegung der Zunge hängt dann mehr von der Bewegung der in der langen Pfeife hin und herlaufenden Luftwellen als von ihrer eigenen Elasticität ab; sie wird also eigentlich mehr geschwungen als sie selbst schwingt.

Mittheilung der Schallschwingungen zwischen festen, flüssigen und luftförmigen Körpern. 114 Wenn mehrere feste Körper unter einander zu einem Ganzen verbunden sind, so verbreiten sich die von einem Theile dieses Systems ausgehenden Vibrationen mit der größten Leichtigkeit als fortschreitende Wellen über die ganze Masse; an der Gränze angekommen, gehen nun aber die Wellen nur theilweise in das angränzende Mittel, einen luftförmigen oder flüssigen Körper, über, theilweise aber werden sie reflectirt, und durch die Interferenz der reflectirten Wellen mit den neu ankommenden bilden sich in den einzelnen Theilen des festen Systems stehende Schwingungen. Ein solches System bildet ein Ganzes, welches, wenn ein Punkt in Schwingungen versetzt wird, sich in einzelne schwingende Theile abtheilt, die durch Schwingungsknoten getrennt sind. Jeder einzelne Theil verliert gewissermaßen seine Individualität; seine Verbindung mit den benachbarten Stücken hindert ihn so zu schwingen, wie es geschehen würde, wenn er allein wäre.

Während sich die Schallwellen leicht über ein System von festen Körpern verbreiten, gehen sie nicht so leicht von einem festen Körper auf einen flüssigen, weniger leicht auf einen gasförmigen über; so kommt es denn, daß mancher ziemlich stark vibrirende feste Körper doch nur einen ganz schwachen Ton hören läßt, nur weil er seine Schwingungen der Luft nicht gehörig mittheilen kann. Dies ist z. B. bei der Stimmgabel der Fall, welche, stark angeschlagen und frei in der Luft gehalten, doch nur einen ganz schwachen Ton hören läßt.

Um den Ton eines solchen Körpers zu verstärken, muß man die Mittheilung seiner Schwingungen an die Luft durch Resonanz, d. h. dadurch befördern, daß man die stehenden Schwingungen des tönenden Körpers noch auf einen anderen zu übertragen sucht. Ein Mittel dazu, welches darin besteht, die schwachtönenden, aber doch stark vibrirenden Körper vor eine Röhre von

entſprechender Länge zu bringen und ſo die Luftmaſſe in derſelben zum Mittönen zu bringen, haben wir ſchon in §. 106 Seite 196 kennen gelernt.

Ein zweites Mittel, den Ton zu verſtärken, beſteht darin, den tönenden Körper mit einem anderen leicht in Schwingungen zu verſetzenden Körper von verhältnißmäßig großer Oberfläche in Berührung zu bringen. Es bilden ſich dann auf dieſem, wie ſchon erwähnt wurde, ebenfalls ſtehende Schallſchwingungen, und dieſe theilen ſich, der großen Oberfläche des mittönenden (reſonirenden) Körpers wegen, der Luft leichter mit. Setzt man z. B. die ſtark angeſchlagene, aber in freier Luft ſchwach tönende Stimmgabel auf einen Kaſten von dünnem, elaſtiſchem Holze, wie wir ihn in Fig. 231 kennen lernten, ſo hört man den Ton ungleich ſtärker. Darauf beruht die Anwendung des Reſonanzbodens in verſchiedenen muſikaliſchen Inſtrumenten. Bei Flöten, Orgelpfeifen u. ſ. w. iſt kein Reſonanzboden nöthig, weil hier die ſtehenden Schwingungen einer Luftmaſſe den Ton geben, und dieſe ſich ganz leicht der umgebenden Luft mittheilen.

So wie Vibrationen feſter Körper Schallwellen in der Luft erzeugen, ſo können auch umgekehrt Schallwellen, die, ſich in der Luft verbreitend, einen feſten Körper treffen, dieſen zum Vibriren bringen. So ſieht man z. B. die Saite eines Inſtrumentes in Schwingungen gerathen, wenn ſie von den Schallwellen des Tones, welchen ſie ſelbſt giebt, oder eines ſeiner harmoniſchen Töne getroffen wird; ſo zittern die Fenſterſcheiben heftig unter dem Einfluſſe gewiſſer Töne oder des Knalles einer Kanone. Dieſe Erſcheinung, welche man ſo auffallend an leicht beweglichen Körpern wahrnimmt, findet auch bei größeren Maſſen und weniger elaſtiſchen Körpern Statt; alle Pfeiler und Mauern eines Domes erzittern mehr oder weniger beim Läuten der Glocken.

Drittes Capitel.

Von der Stimme und dem Gehör.

Das Stimmorgan. Es ist bekannt, daß die Luftröhre eine Röhre 115
ist, welche oben mit dem Kehlkopfe, unten in der Lunge endigt; sie bildet den Weg, durch welchen die eingeathmete Luft der Lunge zugeführt und die verbrauchte wieder ausgeathmet wird; sie ist fast cylindrisch und aus knorpeligen Ringen zusammengesetzt, welche durch biegsame häutige Ringe verbunden sind. Am unteren Ende theilt sie sich in zwei Röhren, die Bronchien, von denen die eine rechts, die andere links geht. Jeder dieser Aeste verzweigt sich weiter nach allen Seiten hin in das Gewebe der Lunge. Das obere Ende der Luftröhre, der Kehlkopf ist es, welcher das Stimmorgan bildet.

Der Kehlkopf besteht aus vier Knorpeln, welche erst im späteren Alter verknöchern, nämlich dem Ringknorpel, dem Schildknorpel und den beiden Gießkannenknorpeln. Diese Knorpel sind unter sich und mit dem oberen Ringe der Luftröhre verbunden und können durch verschiedene Muskeln auf das Mannigfaltigste bewegt werden. Die innere Wand des Kehlkopfes bildet eine Verlängerung der Luftröhre, die immer enger wird, bis zuletzt nur eine von vorn nach hinten gerichtete Spalte, die Stimmritze, übrig bleibt. Die Ränder dieser Stimmritze werden durch die Stimmbänder gebildet. Nach vorn hin sind diese Stimmbänder an dem Schildknorpel, am entgegengesetzten Ende aber ist das eine Stimmband an dem einen, das andere Stimmband an dem anderen Gießkannenknorpel angewachsen, so daß, je nachdem die Knorpel durch die entsprechenden Muskeln mehr einander genähert oder entfernt werden, die Stimmbänder mehr oder weniger gespannt sind und die Stimmritze enger oder weiter wird. Die Stimmbänder selbst bestehen aus einem sehr elastischen Gewebe.

Ueber den Lippen der Stimmritze befinden sich zwei sackartige Höhlungen, die eine auf der rechten, die andere auf der linken Seite, welche sich 8 bis 9 Linien weit seitwärts erstrecken und eine Höhe von 5 bis 6 Linien haben; es

ſind dies die Ventriculi morgagni. Die oberen Ränder dieſer Ventrikeln bilden gleichſam eine zweite Stimmritze, welche 5 bis 6 Linien über der anderen liegt. Die obere Stimmritze kann durch den Kehldeckel, welcher eine faſt dreieckige Haut oder vielmehr ein Knorpel iſt, verdeckt werden; dieſer Kehldeckel iſt mit der einen Seite nach vorn hin angewachſen und verhindert, wenn er die Stimmritze verdeckt, daß Speiſen und Getränke in die Luftröhre gerathen können, indem dieſe über den Kehldeckel hinweg in den Schlund gelangen.

Der Bau des Kehlkopfes wird durch beiſtehende Figuren deutlicher werden. Fig. 240 ſtellt die vordere Hälfte des durch einen ſenkrechten Schnitt getheilten Kehlkopfes, und zwar von hinten geſehen, dar. Es iſt

a der Durchſchnitt durch den Ringknorpel,
b „ „ „ „ Schildknorpel,
c „ „ „ die unteren Stimmbänder,
d „ „ „ die oberen Stimmbänder.

Zwiſchen den unteren und oberen Stimmbändern ſieht man deutlich die Ventriculi morgagni. Ferner läßt ſich aus der Figur erſehen, wie ſich die

Fig. 240.

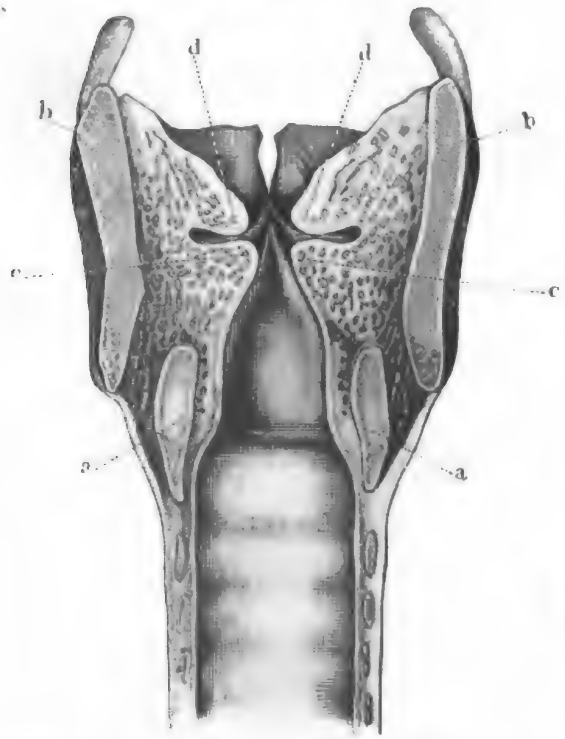


Fig. 241.

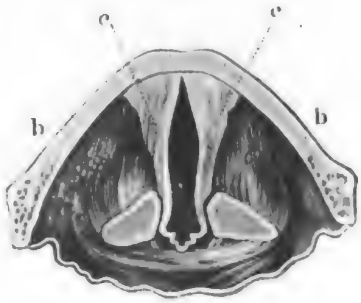
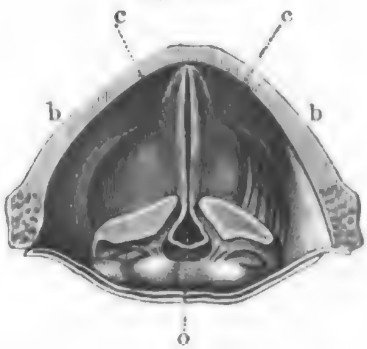


Fig. 242.



Luftröhre gegen die unteren Stimmbänder hin verengt. Fig. 241 und Fig. 242 zeigen die unteren Stimmbänder von oben geſehen (und zwar nach Entfernung der oberen). Fig. 241 zeigt dieſelben im ungeſpannten Zuſtande, bei welchem die Stimmritze weit geöffnet iſt und keine Tonbildung ſtattfindet, während die

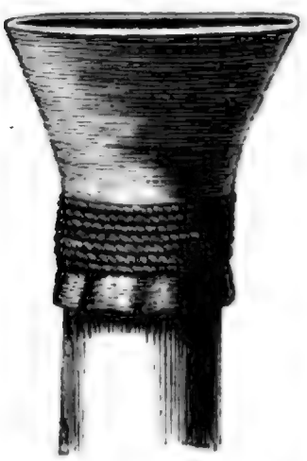
Digitized by Google

Fig. 242 die Stimmritze darstellt, wie sie sich bei Spannung der Stimmbänder gestaltet. Bei einem solchen Grade der Spannung findet bereits eine Tonbildung Statt, wie auch bei stärkerer Spannung, bei welcher sich dann auch die Oeffnung *o* mehr und mehr schließt.

Die Bildung von Tönen im Kehlkopfe ist der in Zungenpfeifen ganz ähnlich. Ein Zungenwerk beruht darauf, daß ein Körper, der für sich durch Anstoßen entweder gar keine, oder doch nur schwache und klanglose Töne hervorbringt, durch den continuirlichen Stoß der Luft einen Ton erzeugt, welcher seiner Länge und seiner Elasticität entspricht. Bei dem Kehlkopfe sind es die Schwingungen der Stimmbänder, durch welche die Stimmritze in rascher Abwechselung mehr geschlossen und wieder geöffnet wird, welche den Ton veranlassen, wie man sich leicht mittelst der folgenden, den Kehlkopf nachahmenden Vorrichtung überzeugen kann.

Von einer Röhre vulkanisirten Kautschuks, welche $^1/_2$ bis $^3/_4$ Zoll weit ist, schneide man ein $1^1/_2$ bis 2 Zoll langes Stück ab und befestige es am Ende eines Glasrohrs von entsprechender Weite, wie man Fig. 243 sieht. Wenn man nun die Kautschukröhre an ihrem oberen Ende an zwei gegenüber liegenden Punkten faßt und aus einander zieht, so bildet sich eine Ritze, deren Ränder von Kautschuk sind, und wenn man dann unten in das Rohr hineinbläst, so erhält man einen Ton, der um so höher wird, je stärker die beiden Lippen angespannt werden. Man kann dabei ganz deutlich die Vibrationen der Kautschuklippen sehen, welche die Ritze bilden.

Fig. 243.



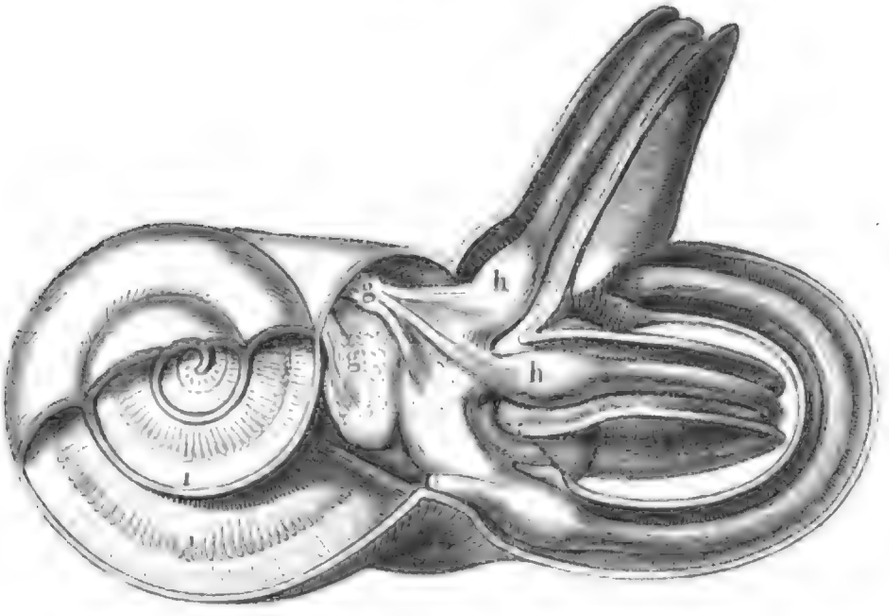
Die Höhe und Tiefe der Töne des Kehlkopfes hängt ebenfalls von der Spannung der Stimmbänder ab.

Das Gehörorgan besteht aus drei Haupttheilen, dem äußeren Ohre, 116
welches durch die Ohrmuschel und den Gehörgang gebildet wird, der Trommelhöhle, welche von dem Gehörgange durch das Trommelfell getrennt ist, und dem Labyrinthe. Das Labyrinth besteht aus knöchernen Höhlungen, welche mit einer Flüssigkeit angefüllt sind, in welcher sich der Gehörnerv verbreitet; um auf diesen Nerven wirken zu können, müssen die Schallvibrationen der ganz von Knochen umgebenen Flüssigkeit im Labyrinthe mitgetheilt werden. Dies geschieht durch zwei Oeffnungen des Labyrinthes, welche in die Trommelhöhle führen: sie heißen das ovale und das runde Fenster; beide Oeffnungen sind mit einem zarten Häutchen überspannt, auf der Mitte der Membran des ovalen Fensters ist aber die Platte des Steigbügels, eines Knöchelchens, aufgewachsen, von welchem sogleich näher die Rede sein wird.

Die Fig. 244 (a. f. S.) stellt das Labyrinth in stark vergrößertem Maßstabe, zum Theil geöffnet dar. Es besteht aus drei Haupttheilen, der Schnecke,

dem Vorhofe und den halbkreisförmigen Canälen. Der akuſtiſche Nerv verbreitet ſich theils in den Vorhof, wo er ſich auf die Ampullen, Röhren,

Fig. 244.



welche in den halbkreisförmigen Canälen liegen und mit einer beſonderen Flüſſigkeit gefüllt ſind, anſetzt, größtentheils aber in ganz feinen Verzweigungen in der Schnecke. Die einzelnen Windungen der Schnecke ſind nämlich durch eine dieſen Windungen parallele feine knöcherne Scheidewand in zwei Theile getheilt. Dieſe Scheidewand iſt ſehr porös und zellig, und in dieſe Zellen verbreiten ſich die letzten Verzweigungen der akuſtiſchen Nerven, wie dies in unſerer Figur an dem aufgebrochenen Theile der Schnecke zu ſehen iſt.

Zu dem Labyrinthe werden nun die Schallſchwingungen durch die in der Trommelhöhle befindlichen kleinen Knöchelchen fortgeleitet; die Knöchelchen ſind der Hammer, welcher mit ſeinem Griffe an der inneren Seite des Trommelfells angewachſen iſt; an den Hammer ſetzt ſich der Amboß an, und mit dieſem hängt durch das linſenförmige Knöchelchen des Sylvius der Steigbügel zuſammen, deſſen Tritt gerade das ovale Fenſter verſchließt. Aus der Ueberſichtsfigur, Fig. 245, welche namentlich das Labyrinth ſtark vergrößert darſtellt, iſt ungefähr die gegenſeitige Lage aller dieſer Theile zu erſehen. *a* iſt der Gehörgang, welcher die Schallwellen von der Ohrmuſchel zum Trommelfelle führt. Das Trommelfell trennt die Trommelhöhle von dem Gehörgange. Durch die Euſtachiſche Röhre *b* ſteht die Trommelhöhle mit der Mundhöhle in Verbindung, ſo daß die Luft in der Trommelhöhle ſtets mit der äußeren ſich ins Gleichgewicht ſtellen kann. *d* iſt der Hammer, welcher einerſeits an das Trommelfell angewachſen, mit ſeinem anderen Ende aber an den Amboß *c* angeſetzt iſt. *f* iſt der Steigbügel; *o* iſt das runde Fenſter; *n* iſt der akuſtiſche Nerv, welcher ſich im Labyrinthe verbreitet.

Die einzelnen Theile des Gehörganges ſind nicht ſo freiliegend, wie es aus Fig. 245 etwa ſcheinen möchte; hier iſt die knöcherne Hülle, welche Alles

einschließt, der Deutlichkeit wegen ganz weggelassen. Der Gehörgang selbst geht durch den Knochen des Schlafbeins hindurch, die Trommelhöhle ist ringsum von Knochenwänden umgeben, und das Labyrinth ist ebenfalls so vollständig in

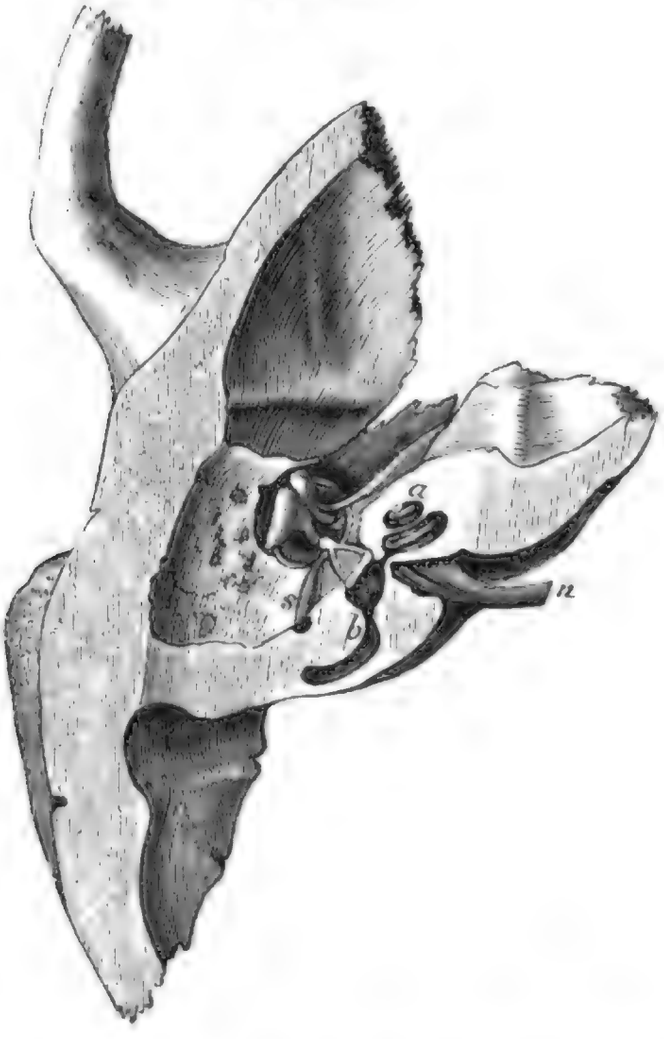
Fig. 245.

einen Knochen, welcher seiner Härte wegen den Namen des Felsenbeins trägt, eingewachsen, daß man es nur mit Mühe bloßlegen kann. Um eine richtige Vorstellung davon zu geben, wie die einzelnen Theile des Gehörorgans in die Knochenmasse eingewachsen sind, ist in Fig. 246 (a. f. S.) ein wirklich anatomischer Durchschnitt desselben in natürlicher Größe dargestellt. *a* ist der Durchschnitt der Schnecke, *b* einer der halbzirkelförmigen Canäle, *n* der Nerv, *t* das Trommelfell; auch der Hammer, Amboß und der Steigbügel sind in der Fig. 246 deutlich zu erkennen.

Die Ohrmuschel dient dazu, die Schallwellen aufzunehmen und durch den Gehörgang zum Trommelfelle hinzuleiten; dadurch nun wird das Trommelfell in Vibrationen versetzt, die durch die Gehörknöchelchen zum Labyrinthe geleitet werden. Das Trommelfell kann durch einen Muskel mehr oder weniger gespannt und nach innen gezogen, der Steigbügel kann durch den Muskel *s* bewegt und dadurch natürlich die Intensität der Mittheilung des Schalles modificirt werden.

Das Wesentlichste am Gehörorgane ist der Gehörnerv; daher kann das Trommelfell verletzt und die Reihe der Gehörknöchelchen unterbrochen sein, ohne

Fig. 246.



daß deshalb das Gehör ganz aufhört; ja bei manchen Thieren, wie bei den Krebsen, besteht das Gehörorgan nur aus einem mit Flüssigkeit gefüllten Bläschen, in welchem sich der Hörnerv ausbreitet.

Drittes Buch.

Optik oder die Lehre vom Licht.

Digitized by Google

Erstes Capitel.

Verbreitung des Lichtes.

Leuchtende und dunkle Körper. Alle leuchtenden Körper be- 117
stehen wesentlich aus wägbarer Materie; der leere Raum kann wohl das Licht fortpflanzen, aber nicht erzeugen.

Alle Körper, welche nicht selbstleuchtend sind, theilt man in undurchsichtige Körper, wie Holz, Steine und Metalle; durchsichtige, wie Luft, Wasser und Glas, und durchscheinende, wie dünnes Papier und mattgeschliffenes Glas.

So lange ein Lichtstrahl in einem und demselben gleich dichten Mittel bleibt, pflanzt er sich in gerader Linie fort, wenn er aber einen anderen Körper trifft, so wird er an dessen Oberfläche theilweise zurückgeworfen, reflectirt, theilweise aber dringt er, wenn dieser Körper durchsichtig ist, mit veränderter Richtung in denselben ein, er wird gebrochen. Weiter unten werden wir die Gesetze der Spiegelung und der Brechung näher betrachten.

Die Geschwindigkeit, mit welcher sich das Licht fortpflanzt, ist so groß, daß es alle irdischen Entfernungen in einem unmeßbar kleinen Zeittheilchen durchläuft. Durch Beobachtung der Verfinsterungen der Jupiterstrabanten haben die Astronomen ermittelt, daß das Licht den Weg von der Sonne bis zur Erde in 8 Minuten und 13 Secunden, also 42000 Meilen in einer Secunde zurücklegt (Supplementband S. 125). Eine Kanonenkugel, welche 1200 Fuß in einer Secunde zurücklegt, würde, um von der Sonne zur Erde zu gelangen, ungefähr 14 Jahre brauchen.

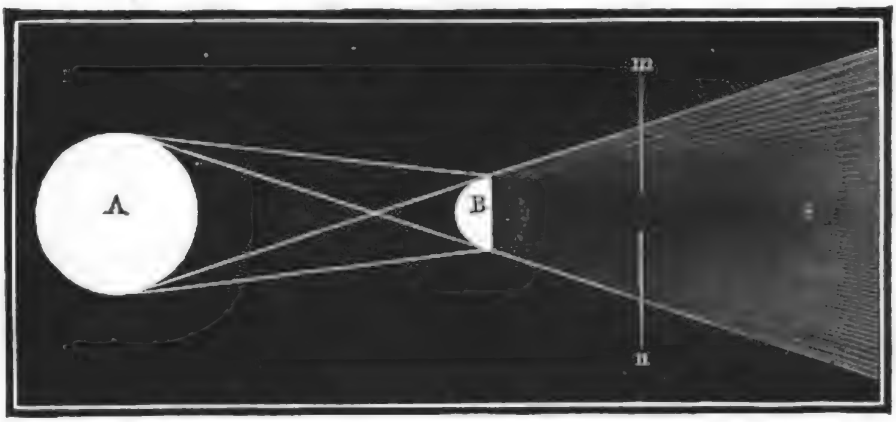
Schatten und Halbschatten. Eine Folge der geradlinigen Fort- 118
pflanzung des Lichtes ist es, daß ein den Lichtstrahlen ausgesetzter dunkler Körper einen Schatten wirft; wenn er nur von einem einzigen leuchtenden Punkte

Fig. 247.

aus erleuchtet wird, so ist der Schatten leicht zu bestimmen. Die Gesammtheit aller Linien, welche, von dem leuchtenden Punkte ausgehend, den dunklen Körper berühren, bildet eine conische Oberfläche, und derjenige Theil derselben, welcher jenseits des dunklen Körpers liegt, bildet die Gränze des Schattens.

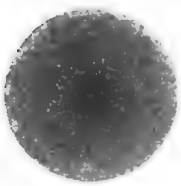
Wenn der leuchtende Körper eine namhafte Ausdehnung hat, so ist außer dem Schatten auch noch der Halbschatten zu unterscheiden. Der Schatten, der in diesem Falle auch der Kernschatten genannt wird, ist der Raum, welcher gar kein Licht empfängt, der Halbschatten hingegen ist die Gesammtheit aller der Orte, welche von einigen Punkten des leuchtenden Körpers Licht empfangen, von anderen aber nicht. Es sei z. B. *A*, Fig. 248, eine große leuch-

Fig. 248.



tende Kugel, *B* eine kleinere undurchsichtige. Wie weit sich der Kernschatten, wie weit sich der Halbschatten erstreckt, ist aus der Figur deutlich zu ersehen. Durch einen Schirm in *m n* aufgefangen, würde der Schatten das Ansehen Fig. 249 haben. Der Durchmesser des Kernschattens nimmt mit der Entfernung vom leuchtenden Körper ab, der Durchmesser des Halbschattens aber nimmt zu.

Fig. 249.



Ganz nahe beim schattengebenden Körper ist deshalb der Kernschatten nur von einem schmalen Halbschatten umgeben; er ist deshalb hier auch ziemlich scharf begränzt. In größerer Entfernung vom schattengebenden Körper ist die Breite des Halbschattens bedeutender, der Uebergang vom Kernschatten zum vollen Lichte deshalb allmäliger, der Schatten erscheint nicht mehr scharf, sondern verwaschen. Jenseits des Punktes *s* hört der Kernschatten ganz auf, und der an Breite immer zunehmende Halbschatten wird deshalb auch immer unbestimmter und schwächer.

Auf diese Weise erklärt sich, daß der Schatten eines dem Sonnenlichte ausgesetzten Körpers, dicht hinter demselben aufgefangen, scharf begränzt, in größerer Entfernung hingegen ganz unbestimmt ist. So kann man z. B. nicht mehr mit Bestimmtheit den Punkt angeben, wo der Schatten der Spitze eines

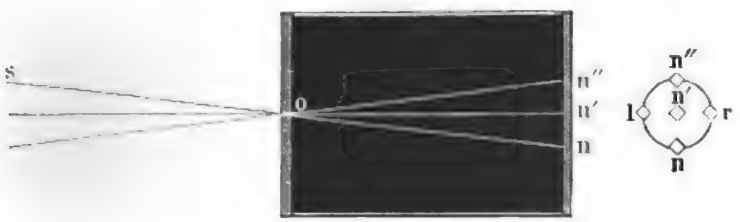
Thurmes auf dem Boden aufhört. Ein Haar, welches im Sonnenlichte dicht über ein Blatt Papier gehalten wird, wirft einen ſcharfen Schatten, hält man es aber nur fünf Zoll hoch über das Papier, ſo iſt wohl kaum noch ein Schatten wahrzunehmen.

Wenn man das von einem leuchtenden Punkte ausgehende Licht durch einen Schirm auffängt, in welchen eine ganz kleine Oeffnung gemacht iſt, ſo wird das durch die Oeffnung durchgehende Licht einen ſcharf begränzten Lichtſtrahl bilden; läßt man dieſen Strahl auf einen zweiten Schirm fallen, ſo erhält man einen hellen Fleck auf dunklem Grunde. Auf dieſe Weiſe erhält man in einem ganz dunklen Zimmer auf einer Wand, welche einer feinen Oeffnung im Laden gegenüberſteht, ein verkehrtes Bild von jedem außerhalb befindlichen hellen Gegenſtande, welcher Lichtſtrahlen durch dieſe Oeffnung ins Zimmer ſendet, wie dies Fig. 250 erläutert.

Fig. 250.

Wenn man das Licht der Sonne durch eine kleine Oeffnung fallen läßt, ſo erhält man jederzeit ein rundes Sonnenbild, welches auch die Geſtalt der Oeffnung ſelbſt ſein mag. Dieſe anfangs auffallend erſcheinende Thatſache erklärt ſich ganz einfach. Wenn die Sonne ein einziger leuchtender Punkt wäre, ſo würde auf der Wand, welche der Oeffnung gegenüberliegt, ein heller Fleck ſich bilden, welcher genau die Geſtalt der Oeffnung hat. Nehmen wir an, die Oeffnung *o*, Fig. 251, ſei viereckig, ſo wird das vom höchſten Punkte der Sonnenſcheibe ausgehende Licht in der Richtung *son* auf den Schirm fallen, und bei *n* wird ein kleiner viereckiger heller Fleck entſtehen. Der tiefſte Punkt der

Fig. 251.



Sonne veranlaßt ein viereckiges Bild bei n''; der mittlere Punkt der Sonnenscheibe aber den eckigen Flecken n'. Das Bildchen l rührt von dem äußersten Punkte am rechten, r aber von dem äußersten Punkte am linken Sonnenrande her. Alle übrigen Punkte des Sonnenrandes geben viereckige Bilder, die auf den Umfang des Kreises $l n'' r n$ fallen, während die übrigen Punkte der Sonne das Innere dieses Kreises erleuchten; die Gesammtheit aller der einzelnen viereckigen hellen Bildchen zusammengenommen bildet mithin einen kreisförmigen hellen Fleck.

119 **Intensität der Erleuchtung in verschiedener Entfernung von der Lichtquelle.** Denken wir uns einen leuchtenden Punkt in der Mitte einer Hohlkugel, so wird die Oberfläche derselben alles von dem Punkte ausgehende Licht auffangen. Befände sich derselbe leuchtende Punkt in der Mitte einer Hohlkugel von einem 2mal, 3mal so großen Halbmesser, so würden auch die Oberflächen dieser größeren Kugeln alles von dem leuchtenden Punkte ausgehende Licht auffangen. Nun aber lehrt uns die Geometrie, daß die Oberflächen der Kugeln sich verhalten wie die Quadrate ihrer Halbmesser; wenn sich die Halbmesser der Kugeln verhalten wie 1 : 2 : 3, so verhalten sich ihre Oberflächen wie 1 : 4 : 9. Wenn sich also derselbe leuchtende Punkt in der Mitte einer Kugel von 2mal, 3mal so großem Halbmesser befindet, so muß sich dieselbe Lichtmenge über eine 4mal, 9mal so große Oberfläche verbreiten, die Intensität der Erleuchtung muß also 4mal, 9mal schwächer sein.

Daraus folgt allgemein: *die Intensität der Erleuchtung nimmt in dem Verhältnisse ab, in welchem das Quadrat der Entfernung von der Lichtquelle wächst.*

Um die Richtigkeit dieses Satzes durch den Versuch nachzuweisen, kann man sich des Apparates Fig. 252 bedienen, welcher in einem verfinsterten Zimmer aufgestellt wird. In der langen getheilten Rinne befindet sich ein Schieber s, welcher einen mit Papier überzogenen Rahmen trägt. In der Mitte des Papierschirmes ist ein kleiner mit Stearin gemachter Fettfleck angebracht.

Nachdem man auf beiden Seiten vom Schirm zwei gleiche brennende Kerzen ohngefähr in gleicher Entfernung von demselben (etwa 2 Fuß) aufgestellt hat, kann man es durch Verschiebung des Schirms oder der einen Kerze leicht dahin bringen, daß von der einen (etwa der rechten Seite) her gesehen der Fleck verschwindet, d. h. daß er weder hell auf dunklem, noch dunkel auf hellem Grunde erscheint. Bei dieser Stellung wird nun der Abstand des Schirms von der Kerze links gemessen (wir wollen ihn mit l bezeichnen), dann dieselbe entfernt und statt ihrer links vom Schirm ein Schieber mit vier solchen Kerzenflammen aufgestellt. Man muß diese vier Flammen nun in die Entfernung $2\,l$ vom Schirme bringen, wenn bei sonst unveränderten Umständen der Fleck abermals verschwinden soll.

Auf diesen Satz gründet sich nun auch die Vergleichung der Lichtstärke *verschiedener Lichtquellen*. Die zu diesem Zwecke angewandten Apparate

nennt man Photometer. Fig. 253 (a. f. S.) ſtellt ein Rumford'ſches Photometer dar. CD iſt eine weiße Wand. Nahe vor derſelben iſt ein undurchſichtiges Stäbchen s, etwa ſo dick wie ein Bleiſtift, aufgeſtellt; wenn ſich nun eine Kerze in l, eine andere Flamme in L befindet, ſo werden auf der Wand zwei Schatten des Stäbchens entſtehen. Derjenige Theil der Wand, auf welchem ſich kein Schatten befindet, iſt von beiden Flammen beſchienen, jeder Schatten iſt aber nur durch eine Lichtquelle beleuchtet. Wenn nun beide Lichtquellen vollkommen gleich ſind, ſo werden die beiden Schatten gleich dunkel erſcheinen, wenn ſich die beiden Flammen in gleicher Entfernung vom Schirm befinden. Wenn aber die eine Flamme ſtärker leuchtet, ſo wird der eine Schatten heller erſcheinen, und um beide wieder gleich zu machen, muß man die ſtärkere Lichtquelle weiter vom Schirme entfernen. Bezeichnen wir mit I und i die Intenſitäten, mit L und l die entſprechenden Abſtände der beiden Flammen vom Schirme für den Fall, daß die beiden Schatten gleich ſind, ſo hat man

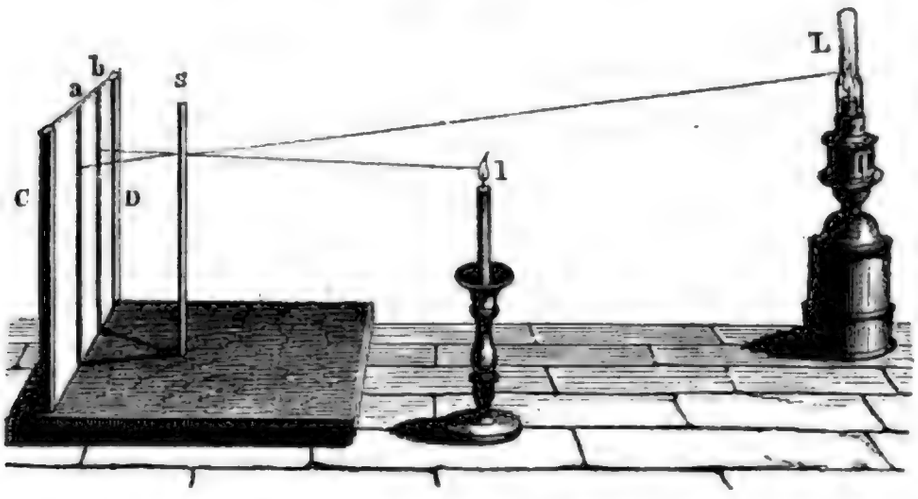
$$I : i = l^2 : L^2.$$

Wäre z. B. für den Fall der Gleichheit der Schatten die Kerze 2 Fuß,

Fig. 252.

die Lampe 5 Fuß vom Schirme entfernt, so wäre also die Lichtstärke der Lampe $^{25}/_{4}$, also $6^{1}/_{4}$mal so groß als die Kerze.

Fig. 253.



Bei dem Bunsen'schen Photometer wird der Papierschirm mit Fettfleck zur Vergleichung der Intensität verschiedener Lichtquellen in Anwendung gebracht. Wenn man bei unveränderlicher Beleuchtung von der Vorderseite des Papierschirms auf der Rückseite desselben die Normalkerze (die Kerze, mit deren Flamme man die anderen Lichtquellen vergleicht; gewöhnlich eine Wachskerze, deren 6 auf 1 Pfund gehen) in der Entfernung l, die andere Lichtquelle aber in der Entfernung nl aufstellen muß, um den Fettfleck unsichtbar zu machen, so ist n^2 die Lichtstärke der letzteren, wenn man die Lichtstärke der Normalkerze zur Einheit nimmt.

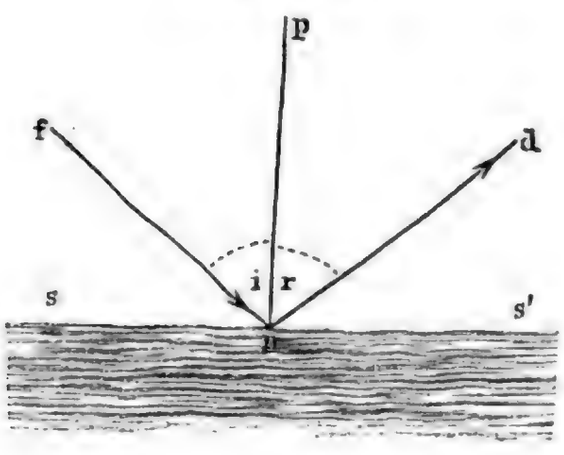
Zweites Capitel.

Katoptrik oder die Lehre von der Reflexion des Lichtes.

Reflexion des Lichtes auf ebenen Flächen. Wenn man in **120**
ein dunkles Zimmer einen Sonnenstrahl eintreten und auf eine polirte Metallfläche fallen läßt, so beobachtet man im Allgemeinen folgende Erscheinungen: 1) Man beobachtet in einer bestimmten Richtung einen Strahl, welcher von dem Spiegel herzukommen scheint und auf den Gegenständen, die er trifft, gerade so ein kleines Sonnenbildchen erzeugt, wie wenn der direct einfallende Sonnenstrahl diese Stelle getroffen hätte; solche Strahlen sind regelmäßig reflectirt, ihre Lichtstärke ist um so bedeutender, je besser der Spiegel polirt ist; 2) von den verschiedenen Orten des dunklen Zimmers aus kann man denjenigen Theil des Spiegels unterscheiden, welcher von dem einfallenden Sonnenstrahl getroffen worden ist; es rührt dies daher, daß von der getroffenen Stelle des Spiegels ein Theil des einfallenden Lichtes unregelmäßig reflectirt, d. h. nach allen Seiten hin zerstreut wird (Diffusion des Lichtes). Die Intensität des zerstreuten Lichtes ist um so größer, je unvollkommener der Spiegel polirt ist.

Wenn es absolut glatte spiegelnde Oberflächen gäbe, so würden wir sie durch unsere Augen gar nicht wahrnehmen können, denn die nicht selbst leuchtenden Körper sind uns nur durch die an ihrer Oberfläche zerstreuten Strahlen sichtbar. Die regelmäßig reflectirten Strahlen zeigen uns das Bild des Körpers, von dem sie ausgingen, keineswegs aber die Gestalt des reflectirenden Spiegels. Bei einem sehr guten Spiegel bemerken wir kaum die spiegelnde Ebene, welche sich zwischen uns und den Bildern befindet, die er uns zeigt.

Fig. 254.



In Fig. 254 sei ss' die in der Zeichnung zur Linie verkürzt erscheinende Oberfläche eines Spiegels; ein Lichtstrahl fn, welcher den Spiegel in n trifft, wird nach einer Richtung nd reflectirt, welche in der Ebene

liegt, die man ſich durch den einfallenden Strahl $f n$ rechtwinkelig auf die Spiegelebene gelegt denken kann.

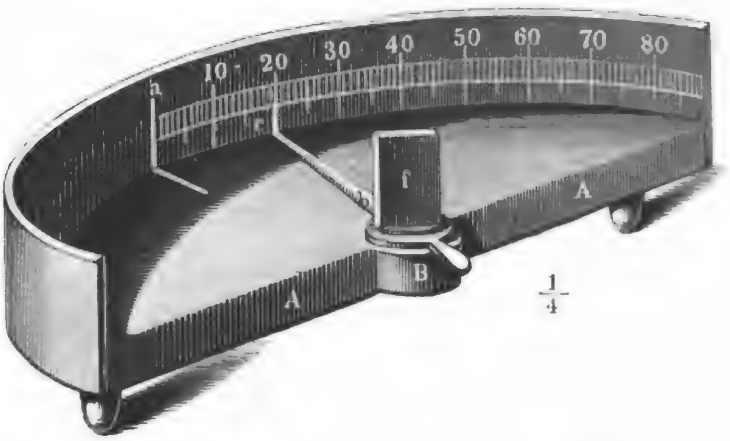
Dieſe rechtwinkelig auf der Spiegelebene ſtehende Ebene, welche den einfallenden und den reflectirten Strahl enthält, wird die Reflexionsebene oder auch die Einfallsebene genannt.

Denken wir uns in n ein Perpendikel $n p$ auf der Spiegelebene errichtet, ſo heißt dieſes Perpendikel das Einfallsloth. Der Winkel i, welchen der einfallende Strahl mit dem Einfallslothe macht, heißt der Einfallswinkel, der Winkel r, welchen der reflectirte Strahl mit dem Einfallslothe macht, heißt der Reflexionswinkel.

Der Reflexionswinkel iſt jederzeit dem Einfallswinkel gleich.

Dieſer wichtige Satz läßt ſich mit Hülfe des Apparates Fig. 255 leicht nachweiſen. Der Spiegel f, welchen unſere Figur von der Rückſeite zeigt, iſt

Fig. 255.



um eine verticale Axe drehbar, welche durch den Mittelpunkt des horizontalen halbkreisförmigen Brettes A geht. Die Richtung des Einfallslothes für ein von a in horizontaler Richtung auf den Spiegel fallendes Strahlenbündel iſt durch den Meſſingſtreifen $b c$ bezeichnet, welcher ſich mit dem Spiegel dreht und bei c einen verticalen Zeiger trägt.

Um den gekrümmten Theil des Brettes A iſt ein daſſelbe überragender Halbkreis von Meſſingblech gelegt, welcher bei a einen verticalen Schlitz hat. Der Viertelkreis von a nach der rechten Seite iſt in 90 Grad getheilt.

Iſt der Spiegel ſo geſtellt, daß der Zeiger c auf den Theilſtrich 10^0, 20^0, 30^0 u. ſ. w. zeigt, ſo wird ein Strahlenbündel, welches durch die Spalte bei a eindringt (am beſten ein durch einen Spiegel horizontal gemachtes Bündel Sonnenſtrahlen), mit dem Einfallslothe des Spiegels einen Winkel von 10, 20, 30 u. ſ. w. Graden machen und alſo nach den Theilſtrichen 20^0, 40^0, 60^0 u. ſ. w. reflectirt werden.

Die Richtung des geſpiegelten Strahles iſt alſo durch zwei Bedingungen beſtimmt, nämlich:

1) daß der reflectirte Strahl in derjenigen Ebene liegt, welche durch den einfallenden Strahl und das Einfallsloth gelegt werden kann, und

2) daß der Reflexionswinkel dem Einfallswinkel gleich ist.

Mit Hülfe dieser Grundsätze kann man leicht zeigen, daß ein ebener Spiegel von Gegenständen, die sich vor seiner Ebene befinden, Bilder zeigen muß, und daß Bild und Gegenstand in Beziehung auf die spiegelnde Ebene symmetrisch sind.

Es sei $m'm$, Fig. 256, ein ebener Spiegel, L ein leuchtender Punkt vor demselben, der einen Strahl Li auf den Spiegel sendet. Dieser Strahl wird nun

Fig. 256.

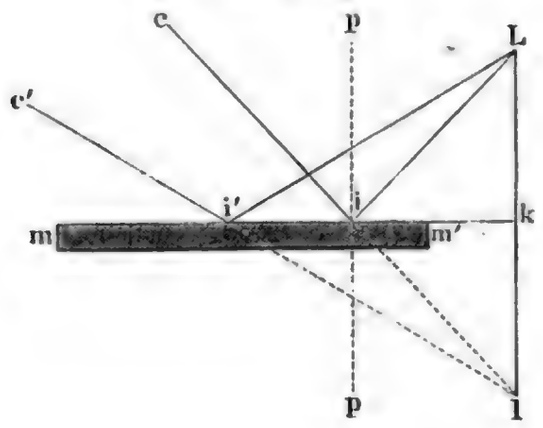
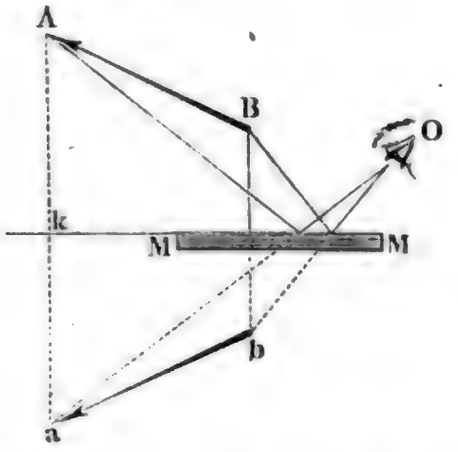


Fig. 257.



nach den bekannten Gesetzen in der Richtung ic reflectirt, und wenn der gespiegelte Strahl das Auge trifft, so macht er auf dasselbe denselben Eindruck, als ob er von einem Punkte l hinter dem Spiegel käme, der auf der Verlängerung von ci liegt und dessen Entfernung vom Auge eben so groß ist als der Weg, den der Strahl wirklich durchlaufen mußte, um von L nach i und von da nach dem Auge zu gelangen; man findet also diesen Punkt l, wenn man auf der Verlängerung von ci die Entfernung il gleich iL macht. Verbindet man L und l durch eine gerade Linie, so kann man leicht beweisen, daß die Dreiecke Lik und lik einander gleich sind, und daraus ergiebt sich dann ferner, daß Ll rechtwinkelig auf mm' steht und daß $lk = Lk$ sei. Um also das Bild eines leuchtenden Punktes in einem ebenen Spiegel zu finden, hat man nur von dem leuchtenden Punkte ein Perpendikel auf den Spiegel oder seine Verlängerung zu fällen und dasselbe hinter der Spiegelebene um eben so viel zu verlängern, als der leuchtende Punkt vor dem Spiegel liegt.

Da dies nun für jeden Punkt eines Körpers gilt, welcher Licht aussendet, mag es nun sein eigenes oder zerstreutes Licht sein, so kann man auch leicht das Bild eines Gegenstandes construiren. In Fig. 257 sei MM ein ebener Spiegel, AB ein Pfeil, welcher sich vor demselben befindet. Um das Bild der Spitze zu finden, fällt man ein Perpendikel Ak auf die Spiegelebene und macht die Verlängerung ak desselben gleich Ak; alle von A ausgehenden Strahlen scheinen nach der Spiegelung so zu divergiren, als ob sie von a kämen; a ist also das Bild von A. Ebenso ergiebt sich, daß b das Bild von B ist. Der Anblick der Figur

zeigt deutlich, daß Bild und Gegenstand in Beziehung auf die Spiegelebene symmetrisch sind.

Die Richtung des reflectirten Strahls läßt sich also mit geometrischer Genauigkeit bestimmen, bei der Intensität der reflectirten Strahlen ist dies aber nicht der Fall. Im Allgemeinen gilt hier Folgendes:

1) Die Intensität des regelmäßig reflectirten Lichtes wächst mit dem Einfallswinkel, ohne jedoch bei rechtwinkeligem Auffallen Null zu sein.

2) Sie hängt von dem Mittel ab, in welchem sich das Licht bewegt und auf welches es trifft.

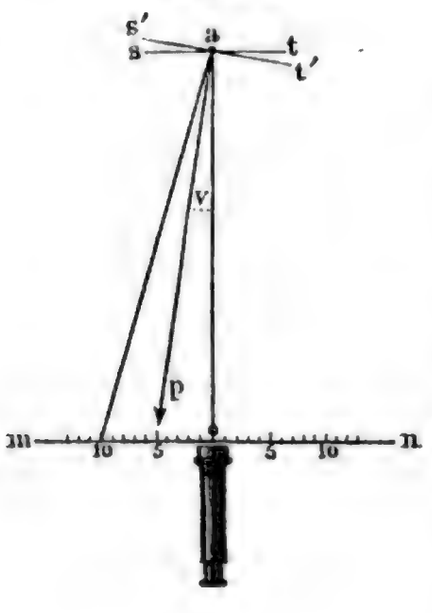
Wir wollen nur einige Beispiele anführen, um dies verständlicher zu machen.

Wenn die von einer Kerzenflamme ausgehenden Strahlen nahe rechtwinkelig auf eine zart mattgeschliffene Glasfläche fallen, so kann man kein Bild der Flamme unterscheiden, man sieht es aber sehr gut, wenn die Strahlen recht schief auf die Platte auffallen; in diesem Falle kann man das Bild auch auf polirtem Holze, glänzendem farbigen Papier u. s. w. wahrnehmen; es geht daraus hervor, daß die Menge des reflectirten Lichtes um so größer ist, je schiefer die Strahlen einfallen.

121 Anwendungen ebener Spiegel. Ebene Spiegel werden öfters zur Construction von physikalischen Apparaten und von Winkelmeßinstrumenten angewendet, von denen folgende die wichtigsten sein dürften:

1) Das Heliostat ist ein ebener Spiegel, welcher, vor dem Laden eines verfinsterten Zimmers angebracht, durch eine kleine Oeffnung ein Bündel Sonnenstrahlen in dasselbe hineinwirft. Da die Sonne am Himmel fortwährend ihre Stellung ändert, so muß der Spiegel beständig gedreht werden, wenn das in das dunkle Zimmer eintretende Strahlenbündel eine unveränderte Richtung beibehalten soll. Diese Drehung kann nun entweder mit der Hand oder mittelst eines Uhrwerks ausgeführt werden. Gewöhnlich werden nur Apparate der letzteren Art mit dem Namen eines Heliostats bezeichnet.

Fig. 258.



2) Der Spiegelsextant ist ein Winkelmeßinstrument, welches im Supplementbande näher besprochen ist.

3) Poggendorff's Spiegelapparat ist eine Vorrichtung, welche dazu dient, sehr kleine Drehungen mit Genauigkeit zu messen. In Fig. 258 sei a die Drehungsachse eines Körpers, welcher um eine mittlere Lage sich um sehr kleine Winkel hin und her bewegt, und an dessen Achse ein Spiegel st so befestigt ist, daß er die erwähnten kleinen Drehungen mit macht, während er zur

Drehungsachse eine unveränderliche Stellung behält. — Der mittleren Lage st des Spiegels gegenüber ist nun ein Fernrohr aufgestellt und etwas unterhalb desselben, parallel mit st ein Maßstab mn so aufgestellt, daß man durch das Fernrohr das Bild der Theilung im Spiegel erblickt. Sobald nun der Spiegel um die Achse a gedreht wird, werden andere und andere Theilstriche vor dem Fadenkreuz des Fernrohrs passiren und so die kleinste Drehung merklich werden.

Der Theilstrich, welcher bei der mittleren Lage st des Spiegels am Fadenkreuze des Fernrohrs erscheint, sei mit 0 bezeichnet und von diesem an die Theilstriche des Maßstabes nach beiden Seiten gezählt. Wird nun der Spiegel so gedreht, daß er in die Lage $s't'$ kommt, so wird ein anderer, und zwar von 0 an gerechnet der $n$te Theilstrich am Fadenkreuz des Fernrohrs erscheinen; das Einfallsloth ap des Spiegels ist alsdann nach dem Theilstrich $\frac{n}{2}$ gerichtet und für die Tangente des Ablenkungswinkels v ergiebt sich der Werth

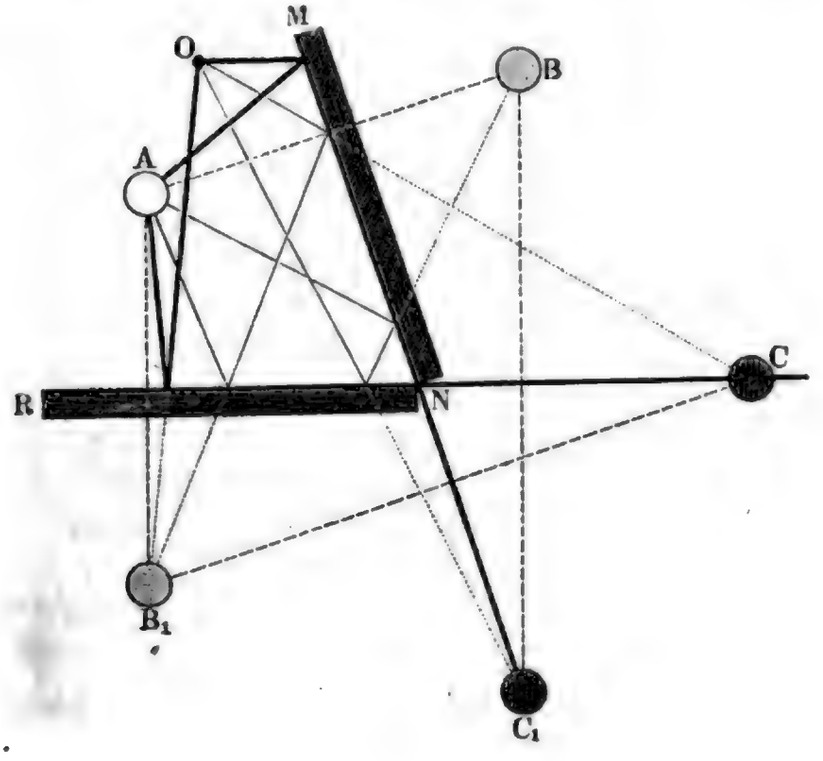
$$tang.v = \frac{n}{2l},$$

wenn l den Abstand ao des Spiegels vom Maßstabe bezeichnet, welcher Abstand natürlich mit der Einheit des Maaßstabes gemessen sein muß.

4) Das Goniometer ist ein Instrument, welches dazu dient, den Winkel zu messen, welchen zwei an einander gränzende Flächen eines Krystalls mit einander machen; ein Reflexionsgoniometer ist aber ein solches, bei welchem die Spiegelung der Lichtstrahlen durch die Krystallflächen zu diesem Zweck in Anwendung gebracht wird.

Eine nähere Besprechung des Reflexionsgoniometers findet man in allen mineralogischen und krystallographischen Lehrbüchern.

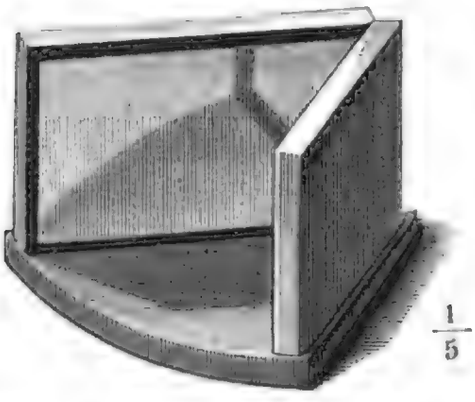
Fig. 259.



5) Winkelspiegel. Wenn zwei ebene Spiegel unter irgend einem Winkel zusammengestellt werden, so sieht man von einem zwischen ihnen befindlichen Gegenstande mehrere Bilder, deren Zahl von der Neigung der Spiegel abhängt. In Fig. 259 (a. v. S.) seien MN und RN zwei unter einem Winkel von 72° ($^1/_5$ des Kreisumfangs) zusammenstoßende ebene Spiegel, A ein leuchtender Punkt, der sich innerhalb des von ihnen gebildeten Winkels befindet. Zunächst wird durch einmalige Reflexion in dem einen Spiegel das Bild B, im anderen das Bild B' entstehen. Das Bild B ist aber gleichsam ein Object für den Spiegel RN, C' ist das Bild des Bildes B, wie auch C das Bild des Bildes B' ist. In der Figur kann man leicht den Gang der Strahlen verfolgen, welche nach einmaliger Reflexion in das Auge O gelangend, die Bilder B und B', und nach zweimaliger Spiegelung die Bilder C und C' liefern.

Wären die Spiegel unter einem Winkel von 60°, 45°, 36° u. s. w. geneigt gewesen, d. h. betrüge der Winkel, den sie machen, $^1/_6$, $^1/_8$, $^1/_{10}$ des ganzen Kreisumfanges, so würde man, den Gegenstand selbst mitgerechnet, 6, 8, 10 u. s. w. Bilder sehen.

Fig. 260.



$\frac{1}{5}$

Fig. 260 zeigt Winkelspiegel, welche, wie es gewöhnlich der Fall ist, einen Winkel von 60° mit einander machen. Das Kaleidoskop und das Debuskop sind Anwendungen der Winkelspiegel.

Wie man sieht, vermehrt sich die Anzahl der Bilder, wenn der Winkel kleiner wird; ihre Anzahl wird unendlich groß, wenn der Winkel der Spiegel Null ist, d. h. wenn die Spiegel einander parallel sind.

122 **Reflexion auf gekrümmten Spiegeln.** Wenn ein Lichtstrahl einen gekrümmten Spiegel in einem Punkte trifft, den wir mit a bezeichnen wollen, so wird er vollkommen ebenso reflectirt, als ob er die in a an die krumme Fläche gelegte Berührungsebene getroffen hätte, oder mit anderen Worten, wenn man sich im Punkte a eine Normale auf der krummen Fläche errichtet denkt, so ist diese das Einfallsloth.

In der Praxis kommen nur Kugelspiegel, sphärische Spiegel vor, d. h. solche, deren spiegelnde Flächen Stücke von Kugeloberflächen sind, oder vielleicht hie und da noch parabolische Spiegel, wenn es sich darum handelt, die von einem Punkte aus divergirenden Lichtstrahlen in ein paralleles Strahlenbündel zu verwandeln. Zu eigentlich optischen Zwecken werden nur sphärische Spiegel verwendet, von denen auch hier allein die Rede sein kann.

Der Mittelpunkt der Kugeloberfläche, von welcher ein sphärischer Spiegel ein Stück bildet, heißt der Krümmungsmittelpunkt des Spiegels.

Denkt man sich von einem Punkte a, in welchem ein sphärischer Spiegel von einem Lichtstrahl getroffen wird, einen Radius nach dem Krümmungs-

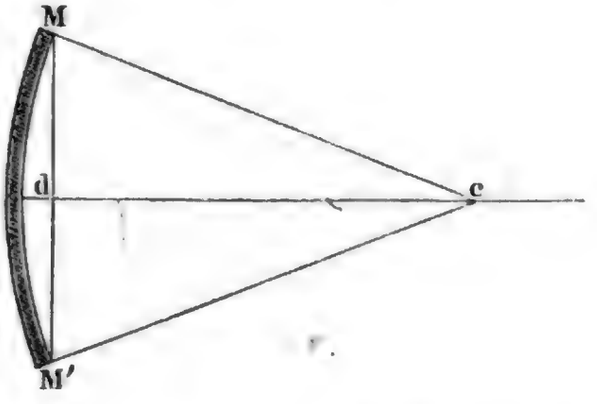
mittelpunkt gezogen, so ist dieser Radius offenbar das Einfallsloth für den Punkt a.

Man unterscheidet zwei Hauptarten von Kugelspiegeln, nämlich Hohlspiegel oder Concavspiegel, bei welchen die innere, dem Krümmungsmittelpunkte zugewendete Fläche die spiegelnde ist, und Convexspiegel, bei welchen die Reflexion durch die äußere, dem Krümmungsmittelpunkte abgewendete Fläche bewirkt wird. Erstere heißen auch Sammel-, mitunter auch Vergrößerungsspiegel; letztere Zerstreuungs- oder Verkleinerungsspiegel.

Die gewöhnlichen Rasirspiegel bilden die bekannteste Form der Hohlspiegel; sie sind durch eine auf der einen Seite ebene, auf der anderen gewölbte Glaslinse gebildet, deren Durchschnitt Fig. 261 dargestellt ist. Die gewölbte Fläche AdB ist mit Spiegelamalgam belegt und bildet eigentlich den Hohlspiegel. Die

Fig. 261.

Fig. 262.



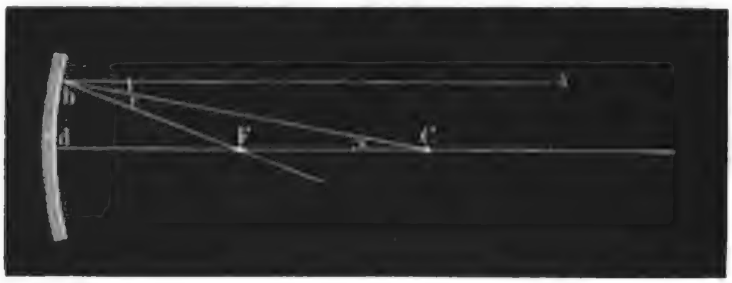
Reflexion auf der ebenen Vorderfläche AB, welche allerdings sehr schwach ist gegen die Spiegelung auf der belegten gewölbten Fläche AdB, beeinträchtigt doch die Reinheit der Bilder ebenso wie der Umstand, daß die Lichtstrahlen, bevor sie auf die spiegelnde Fläche AdB gelangen können, erst die Glassubstanz durchlaufen müssen. Deshalb darf man, wenn es auf Darstellung sehr reiner Hohlspiegelbilder ankommt, wie bei Spiegelteleskopen, solche gläserne Hohlspiegel nicht in Anwendung bringen, sondern sphärisch geschliffene Metallflächen. Das Spiegelmetall, dessen man sich zur Herstellung von Hohlspiegeln für Spiegelteleskope bedient, ist eine Legirung von Kupfer, Zinn (oder Zink) und etwas Arsen. Fig. 262 stelle den Durchschnitt eines sphärischen Spiegels mit einer durch seinen Krümmungsmittelpunkt und seine Mitte gelegten Ebene dar. Nehmen wir, wie es gewöhnlich der Fall ist, den Kugelspiegel kreisförmig begränzt an, so wird eine Linie MM', Fig 262, welche zwei diametral gegenüberstehende Punkte des Spiegelrandes mit einander verbindet, der Durchmesser des Spiegels genannt. Die Linie cd, welche den Krümmungsmittelpunkt c mit der Mitte des Spiegels d verbindet, heißt die Achse des sphärischen Spiegels; der Winkel endlich, welchen die Linien cM und cM' mit einander machen, heißt seine Oeffnung.

Sphärische Hohlspiegel. Wenn ein von einem etwas entfern- 123
teren leuchtenden Punkte ausgehender Strahlenkegel auf einen Hohlspiegel fällt,

ſo werden alle Strahlen deſſelben ſo reflectirt, daß ſie ſehr nahe wieder in einem Punkte vereinigt werden, vorausgeſetzt, daß die Oeffnung des Spiegels höchſtens 8 bis 10° beträgt.

Betrachten wir zunächſt die Strahlen, welche von einem auf der Achſe in unendlicher Entfernung liegenden Punkte aus auf den Spiegel fallen. Da die Divergenz dieſer Strahlen verſchwindend klein wird, ſo ſind ſie ſämmtlich als mit der Achſe parallel zu betrachten. In Fig. 263 ſei ab ein Lichtſtrahl, welcher parallel mit der Achſe in b den Hohlſpiegel trifft. Denken wir uns vom

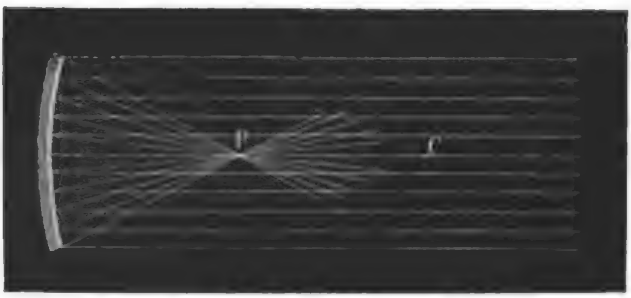
Fig. 263.



Krümmungsmittelpunkte C des Hohlſpiegels einen Radius nach b gezogen, ſo iſt dies das Einfallsloth für den einfallenden Strahl ab, man findet alſo die Richtung des reflectirten Strahles, wenn man Winkel r gleich Winkel i macht. Da nun aber auch Winkel x gleich Winkel i, ſo iſt das Dreieck bFC ein gleichſchenkeliges, und zwar iſt $bF = FC$. So lange aber der Winkel x klein bleibt, der Bogen bd alſo nur wenige Grade überſpannt, iſt $bF + FC$ nicht merklich größer als der Radius bC, es iſt alſo auch $FC = \frac{1}{2} bC = \frac{1}{2} dC$; der Punkt F alſo, in welchem der reflectirte Strahl die Achſe ſchneidet, liegt in der Mitte zwiſchen dem Krümmungsmittelpunkte C und der Mitte des Spiegels d.

Da dies nun wahr iſt, ſo lange der Winkel x klein genug bleibt, ſo folgt, daß ein Hohlſpiegel, deſſen Krümmung von der Mitte bis zum Rande gering iſt, alle Strahlen, welche parallel mit der Achſe auf ihn fallen, in einem Punkte F vereinigen werde, welcher um den halben Krümmungshalbmeſſer von der Mitte des Spiegels entfernt iſt, wie dies durch Fig. 264 anſchaulich gemacht wird.

Fig. 264.

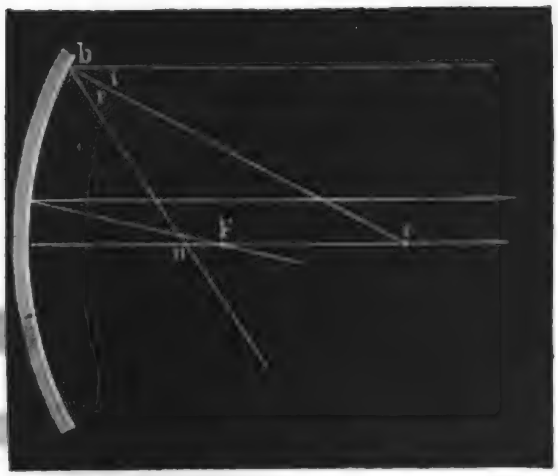


Dieſer Vereinigungspunkt parallel mit der Achſe auf den Hohlſpiegel fallender Strahlen wird der Focus oder Brennpunkt des Hohlſpiegels genannt.

Wenn die Oeffnung des Hohlſpiegels, alſo die Krümmung von der Mitte bis zum Rande über gewiſſe Gränzen hinaus wächſt, wie bei dem Fig. 265

dargeſtellten Hohlſpiegel, ſo werden die Randſtrahlen nicht mehr im Brennpunkte F die Achſe ſchneiden können; denn ſobald die Winkel i und r eine namhafte Größe erreichen, wird auch die Summe der beiden Dreieckſeiten nc und nb namhaft größer ſein als bc, der Punkt n wird alſo dem Spiegel näher liegen als der Brennpunkt F. Nur diejenigen Strahlen, welche in den mittleren Theil des Spiegels einfallen, und welche man die centralen Strahlen nennt, werden im Brennpunkte vereinigt, für die weiter nach dem Rande hin den Spiegel treffenden rückt der Punkt, in welchem ſie nach der Reflexion die Achſe ſchneiden, dem Spiegel ſelbſt um ſo mehr zu, je weiter von der Achſe entfernt ſie den Spiegel treffen.

Fig. 265.



Für optiſche Zwecke ſind nur ſolche Hohlſpiegel brauchbar, welche alle von einem Punkte ausgehenden auf den Spiegel fallenden Strahlen auch wieder in einem Punkte vereinigen, alſo Spiegel, deren Krümmung von der Mitte bis zum Rande oder, was daſſelbe iſt, deren Oeffnung ſehr klein iſt. In dem Folgenden ſoll auch nur von ſolchen Hohlſpiegeln die Rede ſein.

Der erwähnte Fehler, daß nicht alle mit der Achſe parallel einfallenden Strahlen genau in einem Punkte vereinigt werden, wird ſphäriſche Aberration genannt.

Wenn der leuchtende Punkt nicht unendlich weit liegt, ſondern in ſolcher Entfernung, daß man die Divergenz der den Spiegel treffenden Strahlen nicht mehr vernachläſſigen darf, ſo ändert auch der Vereinigungspunkt ſeine Stellung, und zwar rückt er vom Spiegel mehr und mehr weg, je mehr ſich der leuchtende Punkt nähert. Daß dem ſo ſei, iſt aus Fig. 266 leicht zu ſehen. Je näher

Fig. 266.

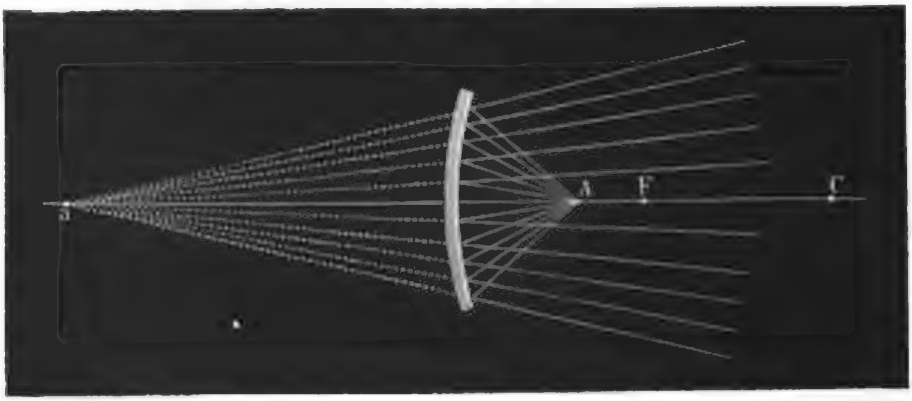
der leuchtende Punkt A rückt, deſto kleiner wird i, deſto kleiner wird alſo auch r, und deſto mehr rückt alſo a nach C hin. Wenn man alſo einen leuchtenden Punkt, der ſo weit vom Spiegel entfernt iſt, daß ſeine Strahlen im Haupt-

brennpunkte wieder vereinigt werden, dem Spiegel fortwährend nähert, ſo wird der Vereinigungspunkt vom Hauptbrennpunkte fortwährend dem Krümmungsmittelpunkte näher rücken, bis endlich, wenn der leuchtende Punkt im Centrum des Spiegels ſteht, der Vereinigungspunkt mit dem leuchtenden Punkte zuſammenfällt. Rückt der leuchtende Punkt dem Spiegel noch näher, ſo fällt der Vereinigungspunkt weiter und weiter vom Spiegel. Läge z. B. der leuchtende Punkt in a, ſo würde A der Vereinigungspunkt ſein, und wenn der leuchtende Punkt den Brennpunkt ſelbſt einnimmt, ſo werden ſeine Strahlen vom Spiegel parallel mit der Achſe reflectirt.

Genaueres über die Lage des Vereinigungspunktes findet man in §. 61 des Supplementbandes (Seite 133).

In Fig. 267 iſt noch der einzig übrige Fall dargeſtellt, nämlich daß der leuchtende Punkt A zwiſchen dem Spiegel und dem Brennpunkte F liegt. Hier

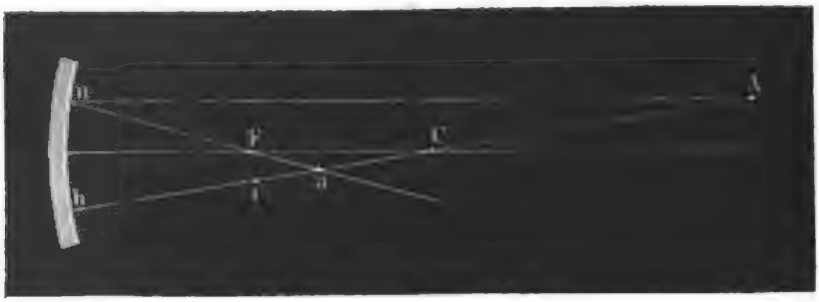
Fig. 267.



werden die Strahlen ſo reflectirt, daß ſie nach der Reflexion divergiren, als ob ſie von einem Punkte a kämen, der hinter dem Spiegel liegt und den man für jeden beſonderen Fall durch Conſtruction leicht finden kann.

Wir haben bisher nur ſolche leuchtende Punkte betrachtet, welche auf der Achſe des Spiegels lagen, ſolche Punkte alſo, für welche die Achſe des auf den Spiegel geſandten Strahlenkegels mit der Achſe des Spiegels zuſammenfiel. Alle bisher entwickelten Geſetze gelten aber auch für ſolche leuchtende Punkte, welche außerhalb der Achſe des Spiegels liegen; es ſei z. B. in Fig. 268 A ein ſolcher leuchtender Punkt. Zieht man von A über C eine Linie nach dem Spiegel, ſo

Fig. 268.



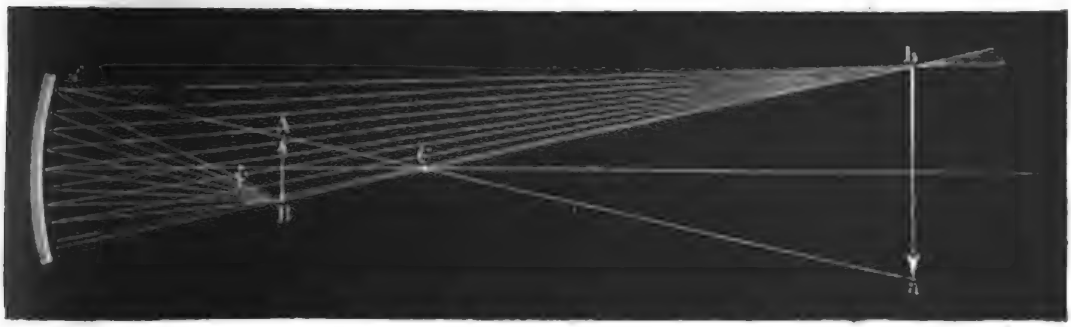
ist dies die Achse des von A auf den Spiegel gesandten Strahlenkegels, und auf dieser Achse müssen sich alle von A ausgehenden Strahlen wieder vereinigen. Wenn ein ganzes Bündel Strahlen mit Acb parallel auf den Spiegel fiele, so würden sie sich nach der Reflexion im Punkte f vereinigen, der in der Mitte zwischen C und b liegt; da aber die von A ausgehenden Strahlen divergiren, so liegt ihr Vereinigungspunkt weiter vom Spiegel ab als f. Man kann nun diesen Vereinigungspunkt leicht durch folgende Construction finden. Man ziehe von A eine Linie An parallel mit der Achse des Spiegels. Ein Strahl, der in dieser Richtung den Spiegel trifft, wird aber bekanntlich nach dem Hauptbrennpunkte F reflectirt; zieht man nun von n über F eine gerade Linie, so wird diese die Linie ACb schneiden, und der Durchschnittspunkt a ist offenbar derjenige, in welchem alle von A ausgehenden Strahlen nach ihrer Reflexion durch den Spiegel wieder vereinigt werden, kurz a ist das Bild von A. Umgekehrt würde von einem leuchtenden Punkte in a ein Bild in A entstehen.

Von den durch Hohlspiegel erzeugten Bildern.

Zu 124

Fig. 269 stelle AB einen Gegenstand vor, der sich zwischen dem Krümmungsmittelpunkte C des Spiegels und dem Hauptbrennpunkte F befindet. Nach dem,

Fig. 269.



was eben gesagt wurde, ist es leicht, das Bild des Punktes B zu finden; es liegt in b, und alle von B ausgehenden den Spiegel treffenden Strahlen werden in b vereinigt. Ebenso findet man das Bild a des Punktes A, und so ergiebt sich, daß man durch einen Hohlspiegel von einem Gegenstande AB, welcher zwischen dem Brennpunkte und dem Mittelpunkte der Krümmung liegt, ein verkehrtes, vergrößertes Bild jenseits C erhält.

Da die von B ausgehenden Strahlen in b gesammelt werden, so werden auch umgekehrt, wenn b ein leuchtender Punkt ist, die von ihm ausgehenden Strahlen durch den Spiegel nach B reflectirt werden; kurz B ist in diesem Falle das Bild von b; ebenso ist A das Bild von a. Wenn sich also ein Gegenstand ab jenseits des Mittelpunktes C befindet, so wird der Hohlspiegel von ihm ein verkehrtes, verkleinertes Bild zwischen dem Mittelpunkte C und dem Hauptbrennpunkte F entwerfen.

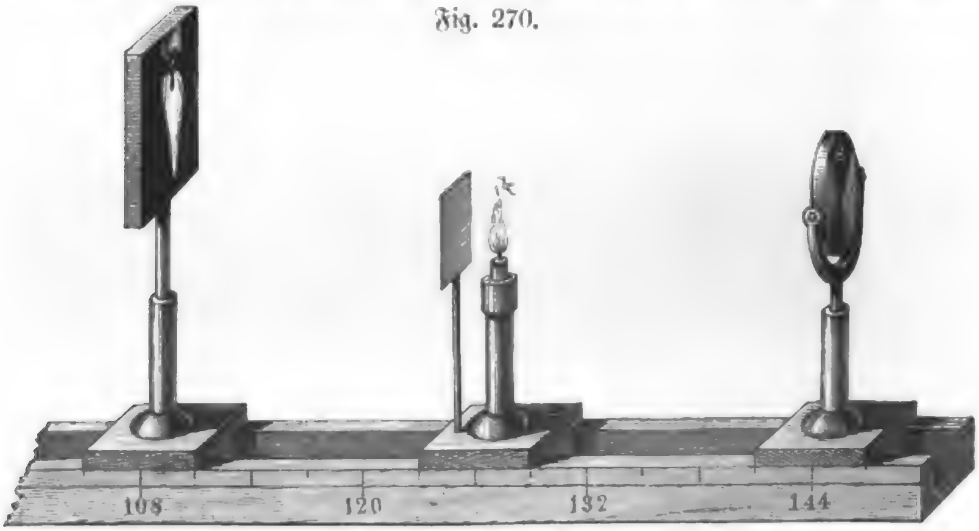
Die Bilder, welche wir soeben betrachtet haben, sind von denen der ebenen Spiegel wesentlich verschieden. Alle Strahlen, welche von einem leuchtenden Punkte ausgehen, werden von einem ebenen Spiegel in einer solchen Richtung

reflectirt, als ob sie von einem Punkte hinter dem Spiegel herkämen, sie divergiren also. In den eben betrachteten Fällen wurden aber die von einem Punkte des Gegenstandes ausgehenden Strahlen durch den Spiegel wirklich wieder in einem Punkte gesammelt; wir wollen deshalb auch diese Bilder zum Unterschiede von den anderen Sammelbilder nennen. Diese Sammelbilder kann man auf einem Schirme von weißem Papier oder mattgeschliffenem Glase auffangen und so ein Bild erhalten, welches sich gerade so verhält wie der Gegenstand selbst; die durch die Concentration der Strahlen stark erleuchteten Punkte des Schirms zerstreuen nämlich das Licht nach allen Seiten hin, und somit wird das Bild selbst dann noch sichtbar, wenn die vom Spiegel reflectirten Strahlen nicht direct ins Auge gelangen.

Fig. 270 stellt einen Apparat dar, welcher dazu dient, die Gesetze der durch Hohlspiegel erzeugten Sammelbilder nachzuweisen.

Je weiter der Gegenstand von dem Hohlspiegel sich entfernt, desto mehr

Fig. 270.



muß sich begreiflicherweise das Bild dem Hauptbrennpunkte nähern, das Bild der gleichsam unendlich weit entfernten Sonne muß also im Hauptbrennpunkte selbst liegen, wenn die Achse des Spiegels nach der Sonne gerichtet ist. Fallen die Sonnenstrahlen schräg, also nicht in der Richtung der Spiegelachse, auf, so liegt das Bild natürlich nicht mehr in der Spiegelachse, sondern seitwärts, seine Entfernung von dem Spiegel ist aber stets dem halben Krümmungsdurchmesser desselben gleich. Da uns die Sonne unter einem Winkel von ungefähr 30′ erscheint, so muß auch das Sonnenbildchen, vom Krümmungsmittelpunkt aus gesehen, unter demselben Winkel erscheinen; seine absolute Größe hängt also von dem Krümmungshalbmesser des Spiegels ab. Im Brennpunkte des großen Reflectors von Herschel z. B., dessen Krümmungshalbmesser 50 Fuß ist, hat das Sonnenbild ungefähr 3 Zoll Durchmesser; der Durchmesser des Sonnenbildes ist ungefähr 3 Millimeter, wenn der Krümmungshalbmesser des Spiegels 1 Meter ist.

Um den Krümmungshalbmesser eines Hohlspiegels zu finden, braucht man

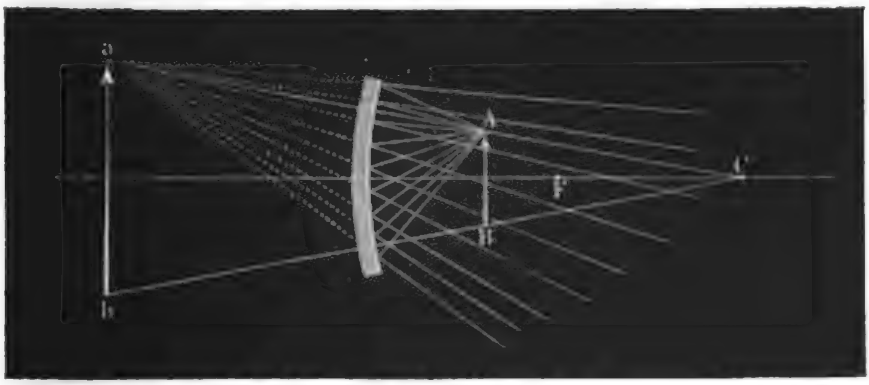
nur zu meſſen, wie weit das Sonnenbildchen vom Spiegel liegt; denn dieſe Entfernung doppelt genommen iſt ja dem Krümmungshalbmeſſer des Spiegels gleich.

Die Bilder ſolcher Gegenſtände, welche um mehr als die 100fache Länge des Krümmungshalbmeſſers vom Spiegel entfernt ſind, ſind dem Brennpunkte ſelbſt noch ganz außerordentlich nahe.

Wir haben jetzt die Lage des Bildes nur noch für den Fall zu ermitteln, daß der Gegenſtand zwiſchen dem Spiegel und dem Brennpunkte liegt. Wir haben geſehen, daß alle Strahlen, welche von einem leuchtenden Punkte ausgehen, der dem Hohlſpiegel näher liegt als der Hauptbrennpunkt, ſo reflectirt werden, *als ob* ſie von einem Punkte hinter dem Spiegel herkämen; in dem eben zu betrachtenden Falle kann alſo natürlich kein Sammelbild entſtehen.

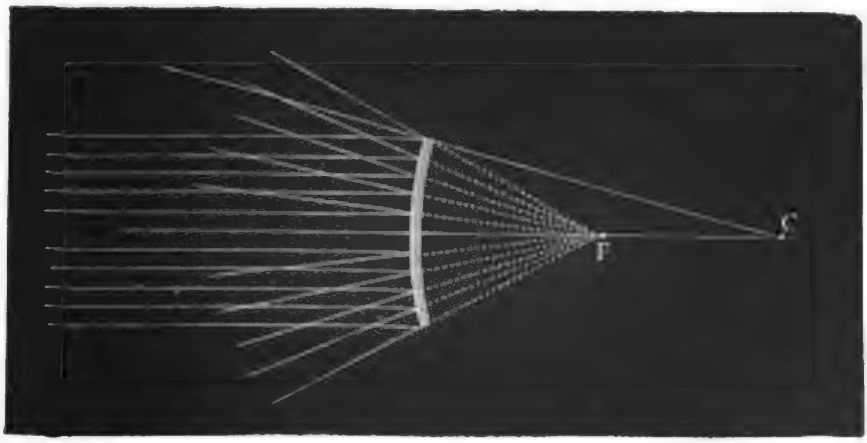
In Fig. 271 ſei AB der Gegenſtand, deſſen Bild wir ſuchen wollen.

Fig. 271.



Nach den oben entwickelten Principien iſt es leicht, die Lage des Punktes a zu ermitteln, von welchem die von A kommenden Strahlen divergiren, nachdem ſie von dem Hohlſpiegel reflectirt worden ſind. Ebenſo läßt ſich das Bild b des Punktes B finden; *wenn alſo der Gegenſtand zwiſchen dem Brennpunkte und dem Spiegel liegt, ſo fällt ſein vergrößertes aufrechtes Bild hinter den Spiegel*, es verhält ſich alſo, die Vergrößerung abgerechnet, ganz wie die Bilder der ebenen Spiegel.

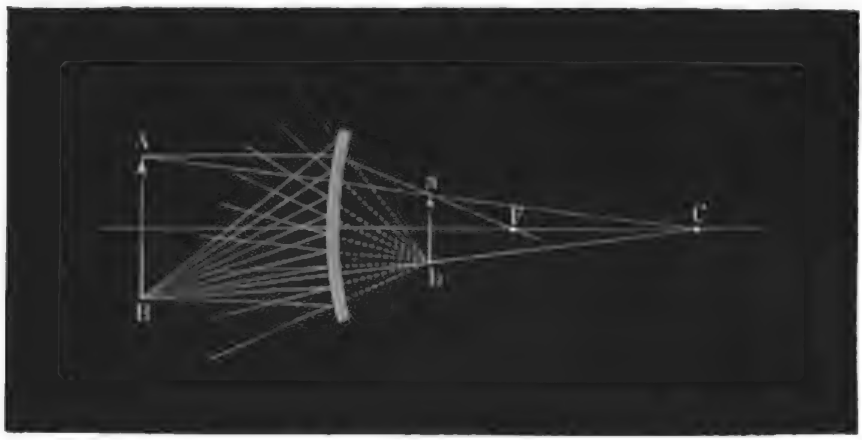
Fig. 272.



125 **Die Convexspiegel** haben keine wirklichen, ſondern nur eingebildete Brennpunkte, d. h. die Strahlen, welche ſie treffen, werden nicht in einem Punkte vereinigt, ſondern ſie divergiren nach der Spiegelung ſo, als ob ſie von einem Punkte hinter dem Spiegel herkämen. Wenn ein Convexſpiegel von einem Strahlenbündel getroffen wird, welches der Spiegelachſe parallel iſt, wie Fig. 272 (a. v. S.) zeigt, ſo werden alle Strahlen ſo reflectirt, als ob ſie vom Hauptzerſtreuungspunkte F kämen, welcher in der Mitte zwiſchen dem Spiegel und dem Mittelpunkte C liegt. Demnach iſt es leicht, die Bilder zu conſtruiren, welche man durch ſolche Spiegel erhält.

Es ſei AB, Fig. 273, ein vor einem Convexſpiegel befindlicher Gegenſtand. Ein Strahl, welcher von A in der Richtung AC auf den Spiegel fällt,

Fig. 273.



wird in derſelben Richtung reflectirt, in welcher er kam, das Bild von A muß alſo auf der Linie AC liegen. Ein Strahl, der von A aus parallel mit der Spiegelachſe in n auf den Spiegel trifft (der Buchſtabe n iſt in der Figur aus Mangel an Raum weggelaſſen), wird ſo reflectirt, als ob er vom Hauptzerſtreuungspunkte F käme; das Bild von A liegt alſo in dem Durchſchnittspunkte a der Linien AC und nF. Alle von A ausgehenden Strahlen werden von dem Convexſpiegel ſo reflectirt, als ob ſie von a her kämen.

Nachdem man auch das Bild b des Punktes B gefunden hat, überzeugt man ſich leicht, daß man durch Convexſpiegel verkleinerte aufrechte Bilder hinter dem Spiegel erhält.

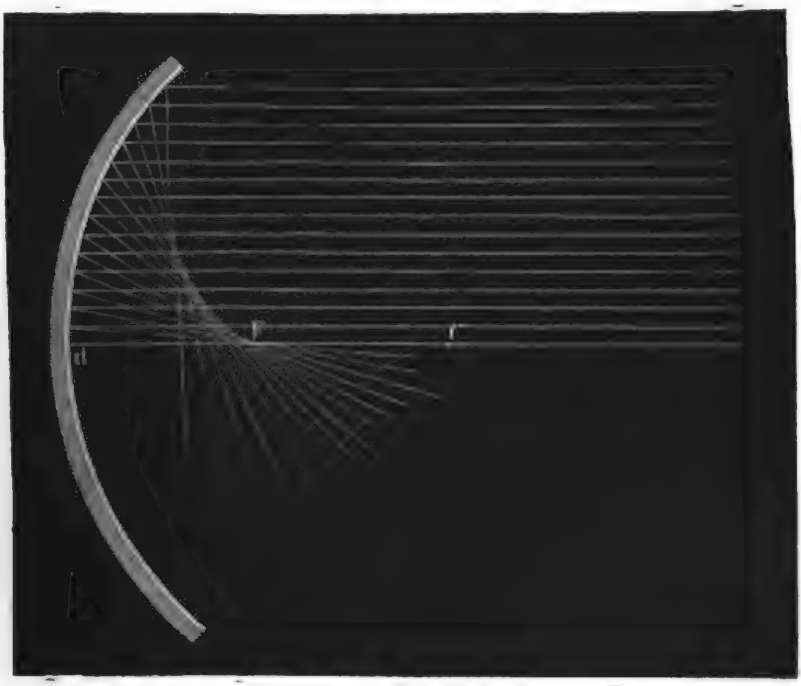
Unſere Figur ſtellt den Verlauf des von B aus divergirenden und von dem Convexſpiegel reflectirten Strahlenbündels dar.

126 **Von den Brennlinien.** Wenn die von einem leuchtenden Punkte ausgehenden Lichtſtrahlen nach ihrer Reflexion durch eine krumme Oberfläche nicht genau in einem und demſelben Punkte wieder vereinigt werden, ſo werden ſich doch immer je zwei benachbarte reflectirte Strahlen ſchneiden; alle Durchſchnittspunkte je zweier benachbarten in einerlei Ebene reflectirten Strahlen geben

Digitized by Google

eine krumme Linie, die man **Brennlinie** oder **kauſtiſche Linie** nennt, und deren Natur von der Natur der ſpiegelnden Fläche abhängt. Die Geſammtheit aller durch eine ſpiegelnde krumme Oberfläche erzeugten Brennlinien bilden zuſammengenommen eine krumme Fläche, welche **kauſtiſche Fläche** heißt. In der Nähe derſelben iſt die Intenſität des Lichtes am größten, wie man dies an

Fig. 274.



der herzförmigen Linie ſehen kann, die ſich innerhalb eines cylindriſchen Gefäßes oder eines Ringes zeigt, wenn derſelbe vom Sonnenlicht oder dem Lichte einer Flamme beleuchtet wird. Die Fig. 274 erläutert die Entſtehung der Brennlinie.

Drittes Capitel.

Dioptrik oder Brechung des Lichtes.

127 **Das Brechungsgesetz.** Unter Brechung versteht man die Ablenkung, die Richtungsveränderung, welche ein Lichtstrahl erleidet, wenn er aus einem Mittel in ein anderes übergeht. Daß überhaupt eine solche Richtungsveränderung stattfindet, davon kann man sich leicht durch folgenden Versuch überzeugen.

Auf den Boden eines Gefäßes $v\,v'$, Fig. 275, lege man ein Geldstück oder

Fig. 275.

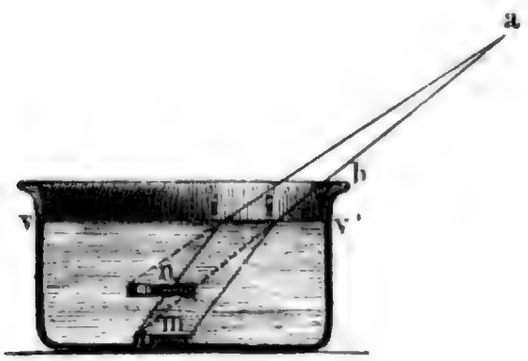
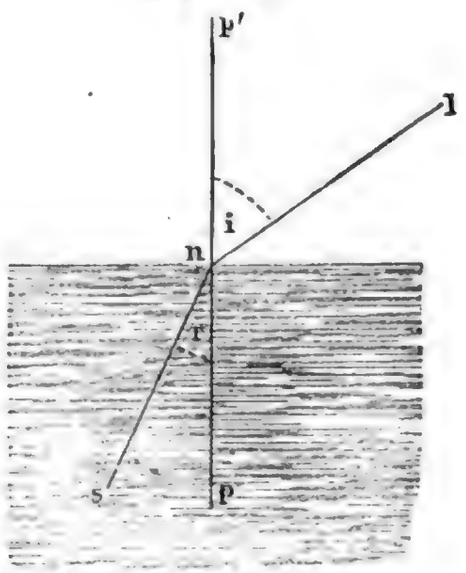


Fig. 276.



sonst ein Metallstück m und halte das Auge a so, daß man eben den Rand desselben sieht, während das ganze Stück durch den Rand b des Gefäßes verdeckt erscheint. Wenn nun Wasser in das Gefäß gegossen wird, so scheint sich das Geldstück in dem Maße zu erheben, in welchem das Niveau des Wassers im Gefäße steigt, bis endlich das ganze Geldstück sichtbar ist und bei n zu liegen scheint, obgleich nach wie vor dieses sowohl als auch das Auge an seiner Stelle bleibt. Das Licht gelangt jetzt nicht mehr in gerader Linie von m nach a, sondern es beschreibt die gebrochene Linie $m\,i\,a$.

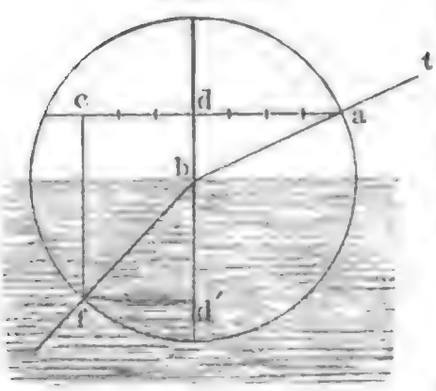
In Fig. 276 sei $l\,n$ ein Lichtstrahl, welcher in n eine Wasserfläche trifft. Denken wir uns nun in n das Einfallsloth $p\,p'$ errichtet, so ist der Winkel i, welchen der einfallende Strahl mit demselben macht, der Einfallswinkel.

Beim Uebergang aus Luft in Wasser bleibt nun der Strahl in der durch den einfallenden Strahl und das Einfallsloth gelegten Ebene, d. h. er bleibt in der Einfallsebene, im Wasser aber verfolgt er eine Richtung $n s$, welche mit dem Einfallsloth einen Winkel r macht, welcher kleiner ist als der Einfallswinkel.

Der Winkel r, welchen der gebrochene Strahl $n s$ mit dem Einfallsloth macht, wird der **Brechungswinkel** genannt.

Zwischen dem Einfallswinkel und dem Brechungswinkel besteht nun eine Beziehung, welche durch Fig. 277 erläutert wird. Es sei $t b$ ein Lichtstrahl, welcher auf eine Wasserfläche trifft, $b f$ sei der entsprechende gebrochene Strahl. Denkt man sich nun um b einen Kreis gezogen, so schneidet derselbe den einfallenden Strahl bei a, den gebrochenen bei f; fällt man nun von a ein Perpendikel $a d$, von f ein Perpendikel $f d'$ auf das Einfallsloth, so wird $f d'$ stets $^3/_4$ von $a d$ sein.

Fig. 277.



Wenn der Radius des Kreises $= 1$ gesetzt wird, so nennt man die erwähnten Perpendikel die **Sinus** der entsprechenden Winkel; es ist $a d$ der Sinus des Winkels $a b d$; $f d' = sin.\ f b d'$. Durch die Einführung dieser Bezeichnung läßt sich aber nun das Brechungsgesetz für den Uebergang der Lichtstrahlen aus Luft in Wasser ganz einfach so ausdrücken:

Der Sinus des Brechungswinkels ist stets $^3/_4$ von dem Sinus des entsprechenden Einfallswinkels.

Das **Brechungsgesetz**, wie es eben auseinandergesetzt wird, läßt sich mit Hülfe des Apparates Fig. 278 nachweisen. Das Gefäß ist zur Hälfte seiner Höhe mit Wasser gefüllt. Ein Lichtstrahl nun, welcher durch eine Spalte in der Mitte der undurchsichtigen Wand $a b$ in das Gefäß eindringt, wird in der oberen Hälfte in gerader Richtung fortgehen, im Wasser aber gebrochen werden. An der Theilung der hinteren halbkreisförmigen Wand kann man die Größe des Einfalls- und des zugehörigen Brechungswinkels ablesen. Es versteht sich von selbst, daß die Spalte in der Mitte von $a b$ durch Glas verschlossen ist. Am besten macht man die

Fig 278.

Wand ab aus einer Glasplatte, welche bis auf einen schmalen Streifen in der Mitte mit undurchsichtiger Farbe bestrichen ist.

Beim Uebergange aus Luft in Glas erleiden die Lichtstrahlen eine stärkere Ablenkung als beim Uebergange aus Luft in Wasser; denn in diesem Falle ist der Sinus des Brechungswinkels ungefähr $^2/_3$ vom Sinus des Einfallswinkels.

Der Quotient, welchen man erhält, wenn man den Sinus des Brechungswinkels in den Sinus des Einfallswinkels dividirt, ist für jede Substanz ein anderer; dieser Quotient wird mit dem Namen des Brechungsexponenten bezeichnet. Für den Uebergang aus Luft sind folgendes die genaueren Werthe der Brechungsexponenten einiger bekannter Stoffe:

Wasser	1,336	Flintglas	1,664
Alkohol	1,372	Schwefelkohlenstoff .	1,680
Benzol	1,500	Anisöl	1,811
Crownglas	1,533	Diamant	2,470

Beim Uebergange aus Luft in Diamant ist also der Sinus des Einfallswinkels beinahe $2^1/_2$ mal so groß als der Sinus des Brechungswinkels; im Diamant erleiden also die Lichtstrahlen eine sehr starke Ablenkung, der Diamant ist eine sehr stark brechende Substanz.

Allgemein läßt sich also das Brechungsgesetz durch die Gleichung:

$$\frac{sin.i}{sin.r} = n$$

ausdrücken.

Ist n der Brechungsexponent beim Uebergange des Strahles aus dem Mittel A in das Mittel B, ist ferner m der Brechungsexponent beim Uebergange aus A in das Mittel C, so ist $\frac{m}{n}$ der Brechungsexponent beim Uebergange von B in C.

Es ist z. B. $^4/_3$ der Brechungsexponent beim Uebergange aus Luft in Wasser, er ist $^3/_2$, wenn der Strahl aus Luft in Glas übergeht, folglich ist $^3/_2 : {}^4/_3 = {}^9/_8$ der Brechungsexponent beim Uebergange des Strahles aus Wasser in Glas.

Der größte Werth, welchen der Einfallswinkel i beim Uebergang in ein stärker brechendes Mittel haben kann, ist 90^0, und da $sin.\ 90^0 = 1$, so hat man für diesen Fall

$$sin.r = \frac{1}{n}.$$

Der sich aus dieser Gleichung ergebende Werth von r wird der Gränzwinkel genannt. Für Luft und Wasser ist $n = {}^4/_3$, also $\frac{1}{n} = {}^3/_4 = 0{,}75$; nun ist aber $0{,}75 = sin.\ (48^0\ 35')$, mithin ist für Luft und Wasser $48^0\ 35'$ der Gränzwinkel; niemals kann ein Lichtstrahl, welcher aus Luft in Wasser tritt, nach der Brechung einen größeren Winkel mit dem Einfallslothe machen.

Wenn hingegen ein Lichtstrahl, sich im Wasser fortpflanzend, einen Winkel von $48^0\ 35'$ mit einem Einfallslothe macht, so wird er nach seinem Austritt in

die Luft einen Winkel von 90° mit dem Lothe machen, d. h. er wird sich parallel der Trennungsfläche bewegen; alle im Wasser sich bewegenden Strahlen aber, welche mit dem Einfallsloth einen Winkel machen, der den Werth des Gränzwinkels übersteigt, können gar nicht mehr austreten, sie werden an der Gränzfläche des Wassers vollständig gespiegelt. Dieser Fall der totalen Reflexion ist der einzige Fall einer Spiegelung auf durchsichtigen Körpern, bei welcher der Strahl fast nichts an seiner ursprünglichen Intensität verliert.

Brechung des Lichtes in Prismen. Wenn ein Lichtstrahl aus 128
einem Mittel A in B und aus B wieder in A übergeht, so ist der austretende Strahl $n'\,l'$, Fig. 279, dem eintretenden parallel, wenn die beiden Gränzflächen von B einander parallel sind; ist dies jedoch nicht der Fall, so wird die Richtung des austretenden Strahls mehr oder weniger von der des eintretenden

Fig. 279.

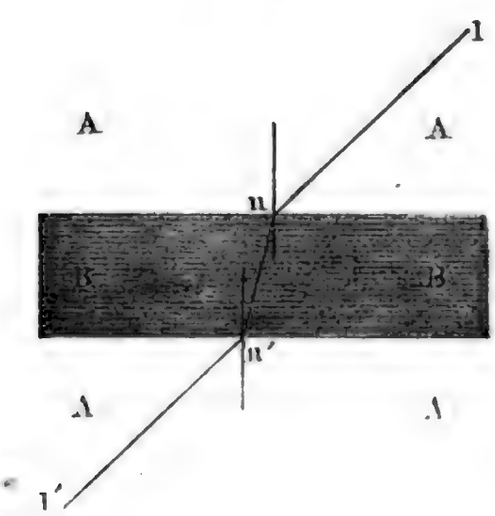
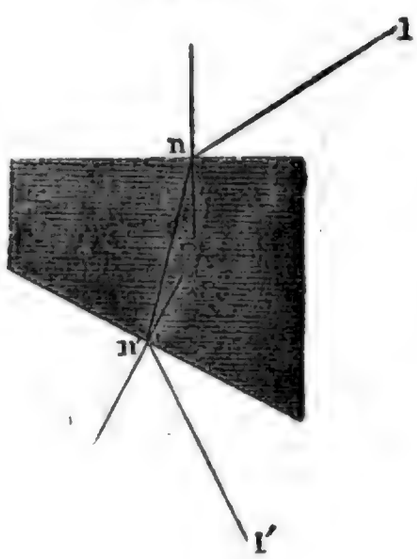


Fig. 280.



abweichen, Fig. 280. Mit Hülfe des Brechungsgesetzes ist es leicht, in jedem bestimmten Falle der Art den Weg des Lichtstrahls zu verfolgen.

In der Optik nennt man nun ein von zwei gegen einander geneigten Flächen begränztes Mittel ein Prisma. — Die Kante des Prismas ist die Linie, in welcher sich die beiden Gränzflächen schneiden oder doch schneiden würden, wenn sie hinreichend verlängert wären. — Die Basis eines Prismas ist irgend eine der brechenden Kante gegenüberliegende Fläche, mag sie nun in der Wirklichkeit vorhanden oder mag sie nur gedacht sein. — Der brechende Winkel ist der Winkel, welchen die brechenden Flächen des Prismas mit einander machen. — Hauptschnitt nennt man den Durchschnitt des Prismas mit einer auf seiner Kante rechtwinkeligen Ebene.

Gewöhnlich wendet man Prismen an, welche durch drei rechtwinkelige Flächen $abb'a'$, $bcb'c'$ und $cac'a'$, Fig. 281 (a. f. S.), begränzt sind. Wenn das Licht durch die Flächen ab' und ac' hindurchgeht, so ist aa' die brechende Kante und die Fläche bc' die Basis; bb' ist brechende Kante, wenn der Lichtstrahl durch die Flächen ba' und bc' geht u. s. w.

Der Hauptschnitt eines solchen Prismas ist ein Dreieck, und je nachdem dieses Dreieck rechtwinkelig, gleichschenkelig oder gleichseitig ist, nennt man auch das Prisma selbst rechtwinkelig, gleichschenkelig oder gleichseitig.

Fig. 282.

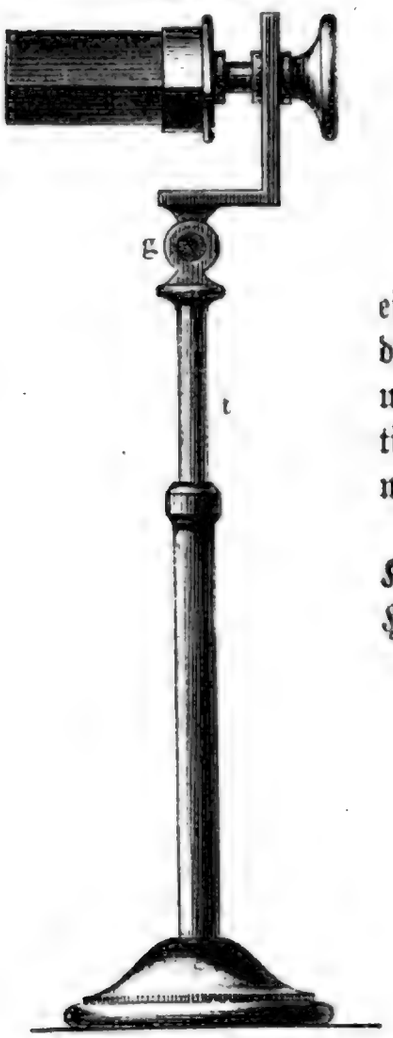
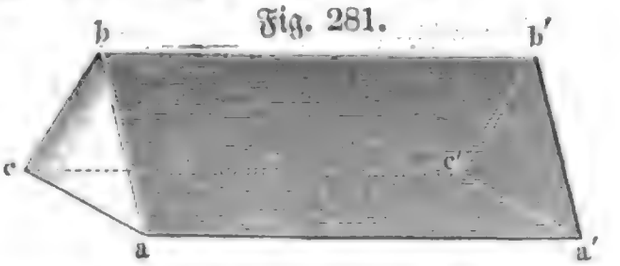


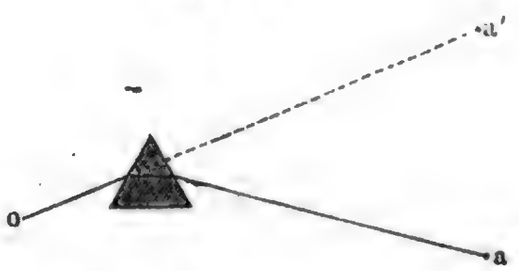
Fig. 281.



Gewöhnlich befestigt man die Prismen auf einem messingenen Stativ, Fig. 282. Indem man das Stäbchen *t* in der Röhre, in der es steckt, auf- und niederschiebt, kann man das Prisma höher oder tiefer stellen, und mittelst des Charniers bei *g* kann man ihm jede beliebige Stellung geben.

Hält man ein Prisma so, daß die brechende Kante nach oben gerichtet ist, so beobachtet man beim Hindurchsehen Folgendes: 1) erscheinen alle Gegenstände bedeutend von dem Orte, den sie wirklich einnehmen, verrückt, und zwar scheinen sie gehoben; das Auge *o*, Fig. 283, erblickt durch das Prisma den Gegenstand *a* in *a'*; 2) erscheinen durch das Prisma gesehen alle Gegenstände mit farbigen Rändern gesäumt. Wäre die brechende Kante nach unten gerichtet gewesen, so würden alle Gegenstände nach unten verrückt erscheinen. Ein verticales Prisma verrückt die Gegenstände nach der rechten oder linken Seite, je nachdem die brechende Kante auf der rechten oder linken Seite sich befindet. Wenn man die Versuche auf diese Weise abändert, so überzeugt man sich leicht, daß alle Gegenstände, durch das Prisma betrachtet, nach der Seite der brechenden Kante hin verrückt erscheinen.

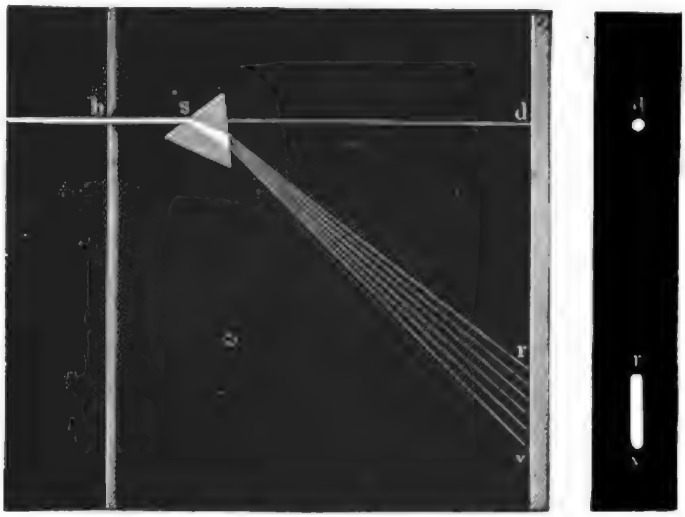
Fig. 283.



Wenn ein Sonnenstrahl durch eine feine Oeffnung in der Richtung *b d*, Fig. 284, in ein dunkles Zimmer tritt, und man ihn durch ein Prisma auffängt, so beobachtet man ebenfalls eine Ablenkung und eine Färbung. Wenn das Prisma eine horizontale Stellung hat und seine brechende Kante nach oben gerichtet ist, so erblickt man statt des weißen runden Sonnenbildchens, welches ohne das Prisma bei *d* erschienen wäre, ein ovales, mit den Regenbogenfarben gefärbtes Bild, das **Sonnenspectrum**, in *r v*. Wäre die brechende Kante nach unten gerichtet, so würde das farbige Sonnenbild über *d* erschienen sein.

Durch ein verticales Prisma wird, je nach ſeiner Stellung, das Sonnenbild rechts oder links abgelenkt.

Fig. 284.



Die eben angedeuteten Farbenerſcheinungen werden wir ſpäter betrachten und uns vor der Hand nur mit der Ablenkung beſchäftigen.

Ein Prisma lenkt unter übrigens gleichen Umſtänden die Lichtſtrahlen um ſo ſtärker ab, je größer der brechende Winkel iſt. Beträgt dieſer Winkel 60°, ſo iſt die Ablenkung ſtärker, als wenn er nur 45° betrüge.

Ein Prisma, welches aus einer ſtärker brechenden Subſtanz beſteht, lenkt die Lichtſtrahlen ſtärker ab, als ein ganz gleich geformtes Prisma einer ſchwächer brechenden Subſtanz. Für ein Waſſerprisma iſt die Ablenkung geringer als für ein Glasprisma.

Für ein und daſſelbe Prisma hängt die Größe der Ablenkung noch von der Richtung ab, in welcher die Lichtſtrahlen auf die erſte Fläche treffen. Wenn man durch ein Prisma einen Gegenſtand betrachtet, ſo ſieht man, wie das Bild ſich bald weiter von der Stelle des Gegenſtandes entfernt, bald ſich ihm wieder nähert, wenn man das Prisma um ſeine Axe dreht. Die kleinſte Ablenkung findet für den Fall Statt, daß die Strahlen das Prisma ſymmetriſch durchlaufen.

Um Prismen aus Flüſſigkeiten zu bilden, wendet man Hohlprismen an, deren Seitenwände durch geſchliffene Glasplatten gebildet ſind.

Eine eingehendere Beſprechung der Brechung des Lichtes in Prismen findet man in den Paragraphen 64, 65, 66 und 67 des Supplementbandes.

Sphärische Linsen. Linſen nennt man durchſichtige durch zwei 129
krumme Oberflächen begränzte Körper, welche die Eigenſchaft haben, ein Strahlenbündel, welches ſie trifft, mehr convergent oder mehr divergent zu machen.

Wir beſchäftigen uns hier nur mit ſphäriſchen Linſen, d. h. mit ſolchen, deren Gränzflächen Stücke von Kugeloberflächen ſind, weil dieſe allein zu optiſchen Inſtrumenten verwendet werden.

Man unterſcheidet zwei Hauptarten von Linſen, nämlich:

Digitized by Google

1) Sammellinſen, welche in der Mitte dicker ſind als am Rande, und
2) Zerſtreuungslinſen, bei welchen das Umgekehrte ſtattfindet.

Fig. 285 ſtellt drei verſchiedene Formen von Sammellinſen oder, wie man ſie auch nennt, von Convexlinſen dar. Nr. 1 iſt eine biconvexe, Nr. 2 eine planconvexe und Nr. 3 endlich eine concavconvexe Linſe.

Fig. 285.

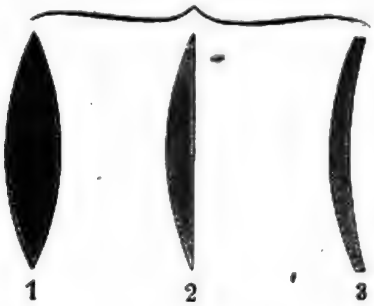


Fig. 286.

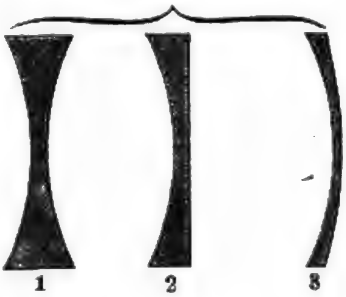
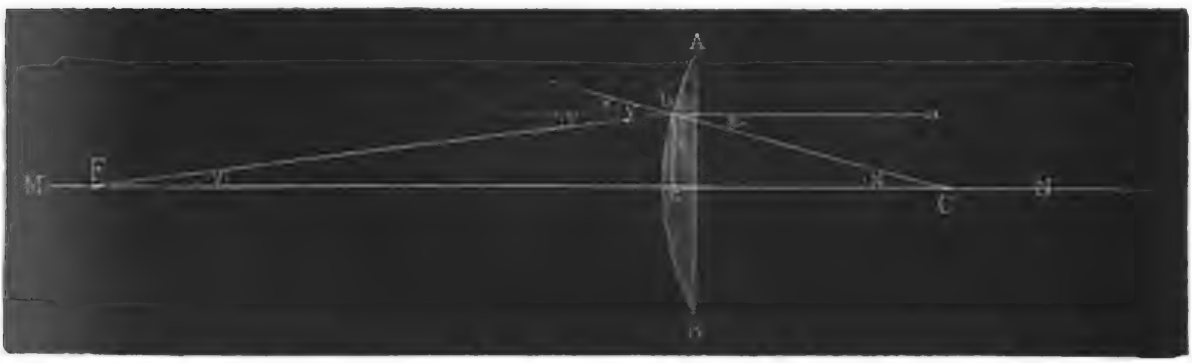


Fig. 286 ſtellt drei verſchiedene Formen der Zerſtreuungs- oder Concavlinſen dar, nämlich Nr. 1 eine biconcave, Nr. 2 eine planconcave und Nr. 3 eine convexconcave Linſe. — Die Formen Nr. 3 in Fig. 285 und Fig. 286 werden auch Menisken genannt.

Die Axe einer Linſe iſt die gerade Linie, welche die Mittelpunkte der beiden Kugeloberflächen verbindet, durch welche die Linſe gebildet wird. Bei den planconvexen und planconcaven Linſen iſt die Axe das von dem Krümmungsmittelpunkte der gewölbten Fläche auf die ebene Fläche gefällte Perpendikel.

130 **Sammellinsen.** Um die wichtigſten Sätze über die Wirkung der Sammellinſen abzuleiten, wollen wir von der Betrachtung des einfachſten Falles, nämlich der planconvexen Linſen, Fig. 285 Nr. 2, ausgehen.

Fig. 287.



Auf die ebene Seite AB, Fig. 287, einer ſolchen Linſe falle ein Lichtſtrahl ab parallel mit der Axe MN, ſo wird er ungebrochen in die Glasmaſſe eintreten und bei b austretend nach der Richtung bF gebrochen werden. Wir wollen den Abſtand des Punktes F, in welchem der austretende Strahl die Axe ſchneidet, von der Linſe, alſo die Länge Fc beſtimmen.

Ziehen wir den Krümmungshalbmeſſer $b\,C$, ſo iſt x der Winkel, welchen der Strahl vor, y der Winkel, welchen er nach der Brechung in b mit der Richtung dieſes Einfallslothes $b\,C$ macht; wir haben aber $sin.\,y = n\,sin.\,x$, wenn n den Brechungsexponenten der Linſenſubſtanz bezeichnet, und ferner $y = n\,x$, ſo lange der Winkel x klein bleibt.

Der Winkel v, welchen der austretende Strahl $b\,F$ mit der Axe macht, iſt nun offenbar gleich $y - x$. Nehmen wir n, den Brechungsexponenten des Glaſes, gleich $^3/_2$, ſo iſt

$$y = {}^3/_2\,x$$

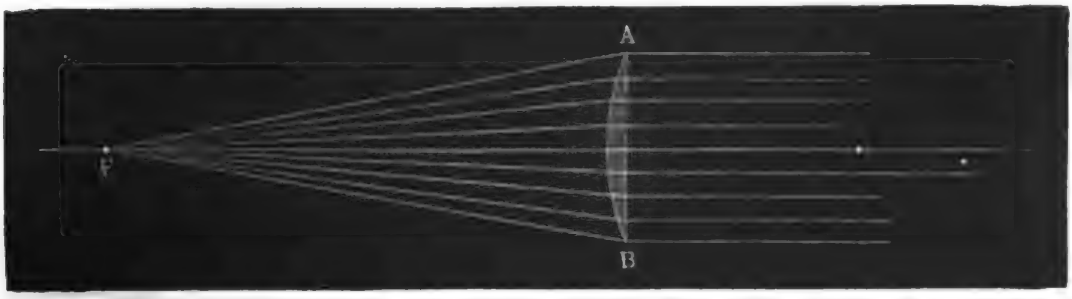
$$\text{und } v = y - x = {}^3{}_2\,x - x = {}^1/_2\,x,$$

daraus folgt aber, daß $F\,c = 2\,c\,C$. Wenn man die Dicke der Linſe als unbedeutend vernachläſſigt, kann man dieſes Reſultat auch ſo ausſprechen: daß der Punkt F doppelt ſo weit von der Linſe entfernt iſt, als der Krümmungsmittelpunkt C.

Bei dieſer Entwickelung iſt kein ſpecieller Werth von x zu Grunde gelegt worden, die Lage des Punktes F bleibt alſo dieſelbe, wie ſich x auch innerhalb der Gränze ändern mag, bis zu welcher man ohne merklichen Fehler den Sinus mit dem zugehörigen Bogen verwechſeln kann. Mit anderen Worten lautet das eben abgeleitete Reſultat:

Wenn auf eine planconvexe Glaslinſe, Fig. 288, ein Bündel Lichtſtrahlen parallel mit der Axe einfällt, ſo werden ſie in einem Punkte F vereinigt, welcher um den doppelten Krümmungshalbmeſſer der gewölbten Seite von dem Glaſe abſteht.

Fig. 288.



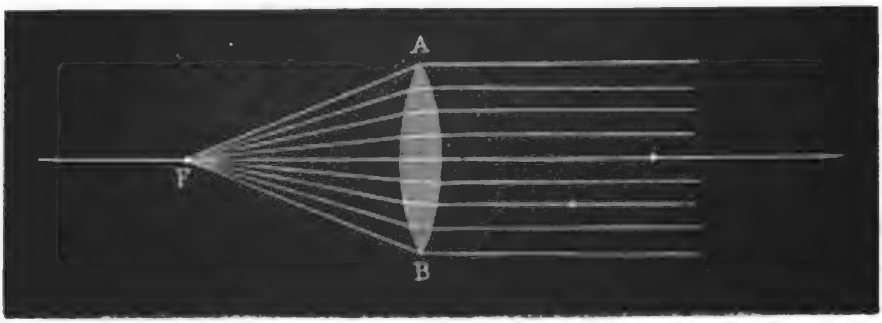
Eine biconvexe Linſe kann als eine Combination zweier planconvexen betrachtet werden, welche mit ihren flachen Seiten an einander gelegt ſind.

Eine biconvexe Linſe, deren beide Flächen den Krümmungshalbmeſſer r haben, wird aber die Lichtſtrahlen doppelt ſo ſtark von ihrer Richtung ablenken, als eine planconvexe Linſe, deren gewölbte Seite denſelben Krümmungshalbmeſſer r hat. Wenn alſo eine gleichgewölbte biconvexe Linſe $A\,B$, Fig. 289 (a. f. S.), von einem Bündel Lichtſtrahlen getroffen wird, welches parallel mit der Linſenaxe einfällt, ſo werden ſie in einem Punkte F vereinigt, welcher nur halb ſo weit vom Glaſe abſteht, als im vorigen Fall, welcher alſo mit dem entſprechenden Krümmungsmittelpunkt der Linſe zuſammenfällt.

Der Punkt F, in welchem durch eine Linſe ein parallel mit der Axe auf dieſelbe fallendes Strahlenbündel vereinigt wird, heißt der Focus oder Brenn-

punkt der Linſe; der Abſtand des Brennpunktes von der Linſe heißt die Focaldiſtanz oder die Brennweite der Linſe.

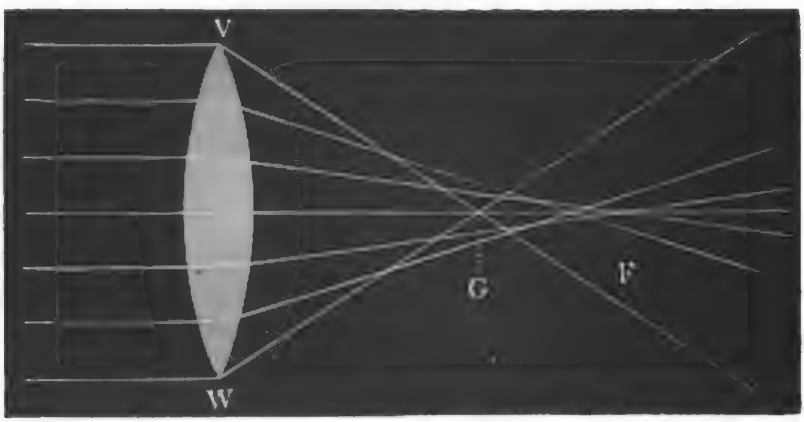
Fig. 289.



Die obigen Beſtimmungen der Brennweite gelten nur für Linſen, deren Subſtanz den Brechungsexponenten $^3/_2$ oder 1,5 hat. Der Brechungsexponent der meiſten Glasſorten iſt aber etwas größer, nämlich 1,52 bis 1,66, folglich wird auch die Brennweite der Glaslinſen etwas kleiner ſein, als eben angegeben wurde. Für eine Waſſerlinſe würde die Brennweite größer, für eine Edelſteinlinſe würde ſie kleiner ſein, als für eine gleichgeformte Glaslinſe.

Der Satz, daß alle parallel mit der Axe auf die Linſe fallenden Strahlen in einem Punkte vereinigt werden, iſt unter der Vorausſetzung abgeleitet worden, daß die Krümmung von der Mitte der Linſe, alſo der Winkel x, Fig. 287, ſelbſt für die am Rand der Linſe einfallenden Strahlen noch klein genug iſt, um den Sinus derſelben mit dem entſprechenden Bogen zu verwechſeln. Iſt aber die Linſe ſo ſtark gewölbt, daß dieſe Bedingung nicht mehr erfüllt iſt, ſo werden die in der Nähe des Randes auffallenden Strahlen die Axe in Punkten ſchneiden, welche näher an der Linſe liegen als der Brennpunkt der centralen Strahlen, wie dies durch Fig. 290 erläutert wird. (Näheres darüber im Supplementband S. 148.)

Fig. 290.



Dieſe Abweichung der centralen Strahlen von den Randſtrahlen nennt man ſphäriſche Aberration. Nur ſolche Linſen, welche ſo ſchwach gewölbt ſind, daß für ſie die ſphäriſche Aberration verſchwindend klein iſt, können reine Bilder geben und zu optiſchen Inſtrumenten mit Erfolg verwendet werden.

Durch die sphärische Aberration sehr stark gewölbter Linsen entstehen **Brennlinien** in ähnlicher Weise, wie wir sie bei den stark gekrümmten Hohlspiegeln in §. 126 kennen lernten.

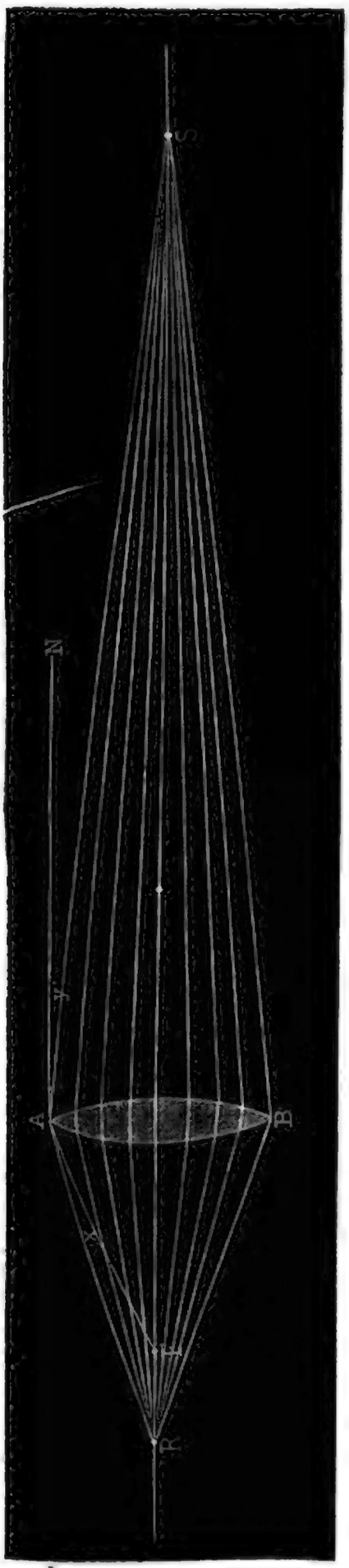


Fig. 291.

Bestimmung der Vereinigungsweite nicht paralleler Strahlen. 130 a. Ist einmal der Brennpunkt einer Linse bekannt, so kann man auch bestimmen, in welchem Punkte diejenigen Strahlen durch die Linse wieder vereinigt werden, welche von irgend einem leuchtenden Punkte ausgehend auf dieselbe fallen. Zunächst wollen wir nur solche leuchtende Punkte in Betracht ziehen, welche auf der Axe der Linse liegen.

Ein mit der Axe parallel auf die Linse fallendes Strahlenbündel kann man betrachten, als käme es von einem auf der Axe liegenden, aber unendlich weit entfernten leuchtenden Punkte. — Nehmen wir nun an, der leuchtende Punkt sei der Linse näher gerückt, er befinde sich in S, Fig. 291, so findet man den Vereinigungspunkt der von S aus auf die Linse fallenden Strahlen, wenn man den Punkt R ermittelt, in welchem ein Randstrahl SA nach seinem Durchgang durch die Linse die Axe schneidet.

Wie wir oben gesehen haben, ändert sich die durch ein Prisma hervorgebrachte Ablenkung mit der Richtung der einfallenden Strahlen; sobald aber der brechende Winkel des Prismas hinlänglich klein ist, wird diese Aenderung unmerklich, so daß man für Prismen von kleinem brechenden Winkel ohne merklichen Fehler annehmen kann, daß sie alle Strahlen, welche auf dieselben fallen, stets um gleich viel von ihrer ursprünglichen Richtung ablenken. Dies findet nun auch seine Anwendung bei Linsen. Der Randstrahl SA wird ebenso stark durch die Brechung am Rande der Linse abgelenkt, wie der Strahl NA, welcher parallel mit der Axe einfällt. — NA wird aber nach dem Brennpunkt F gebrochen, der einfallende und austretende Strahl machen also einen Winkel NAF mit einander. Eben so groß muß der Winkel RAS sein. Man findet also die Richtung des austretenden Strahles AR, wenn man über AF einen Winkel x aufträgt, welcher eben so groß ist als der

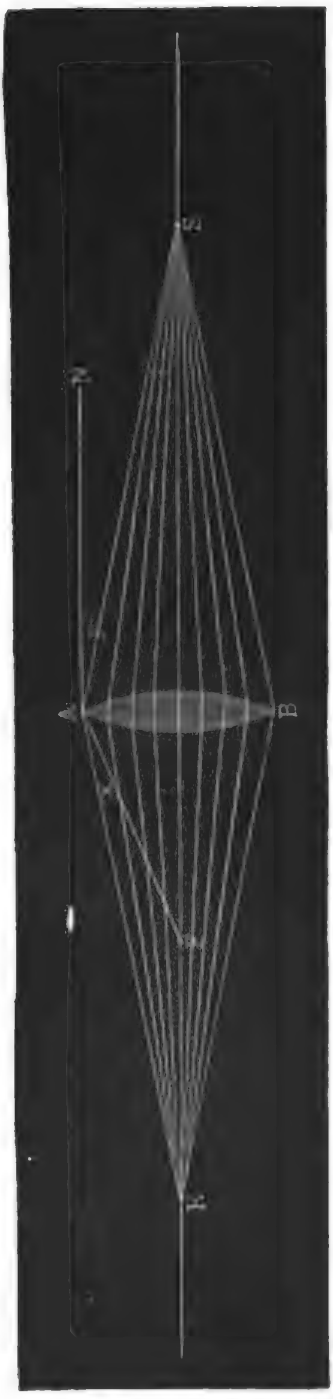


Fig. 292.

Winkel y (NAS), um welchen der einfallende Strahl AS unter AN liegt.

Aus dieſer Conſtruction geht hervor, daß wenn der leuchtende Punkt S auf der Axe der Linſe näher rückt, der Vereinigungspunkt R ſich von der Linſe entfernen müſſe. Bei fortdauernder Annäherung des leuchtenden Punktes wird alſo auch einmal der Fall eintreten, wo der leuchtende Punkt S und der Vereinigungspunkt R gleich weit von der Linſe abſtehen, wie Fig. 292. Für dieſen Fall müſſen der austretende Strahl AR und der eintretende SA gleiche Winkel mit der Axe machen, es muß Winkel SRA gleich RSA ſein. Da nun auch $y = RSA$ und $x = y$, ſo iſt ferner x gleich Winkel SRA, oder das Dreieck RAF iſt ein gleichſchenkeliges und $RF = FA$, der Punkt R iſt alſo um die doppelte Brennweite von der Linſe entfernt.

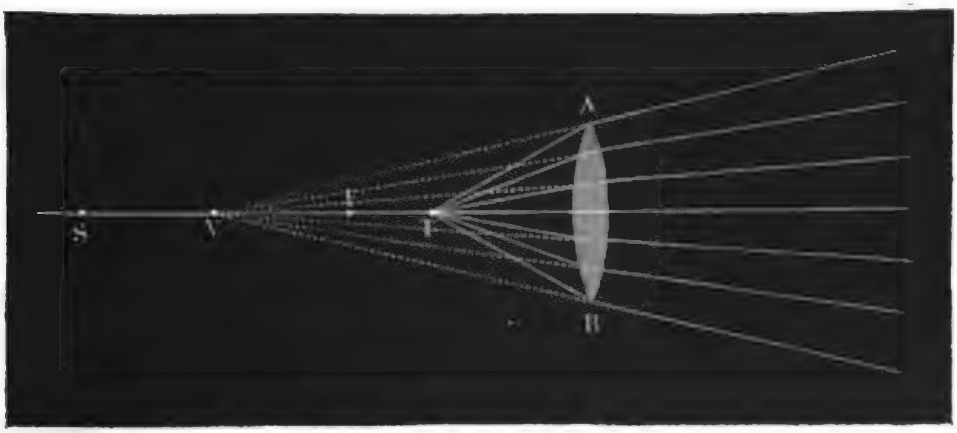
Wenn alſo der leuchtende Punkt um die doppelte Brennweite von der Linſe entfernt iſt, ſo befindet ſich der Vereinigungspunkt auf der anderen Seite in gleichem Abſtande von der Linſe.

Nähert ſich der leuchtende Punkt der Linſe noch mehr, ſo muß ſich der Vereinigungspunkt noch weiter entfernen; wäre R, Fig. 291, ein leuchtender Punkt, ſo wäre S der entſprechende Vereinigungspunkt. Rückt der leuchtende Punkt in den Brennpunkt der Linſe, ſo rückt der Vereinigungspunkt in unendliche Entfernung. Die von dem Brennpunkte F, Fig. 289, aus auf die Linſe fallenden Strahlen werden durch dieſelbe in ein parallel mit der Axe austretendes Strahlenbündel verwandelt.

Wenn der leuchtende Punkt T, Fig. 293, der Linſe ſo nahe rückt, daß er noch innerhalb der Brennweite liegt, ſo iſt der Strahlenkegel, welcher auf die Linſe trifft, ſo ſtark divergirend, daß die Linſe nicht mehr im Stande iſt, die Strahlen convergent, oder auch nur parallel zu machen, ſie divergiren aber nach dem Durchgange durch die Linſe weniger als vorher, ſie verbreiten ſich alſo ſo, als ob ſie von einem Punkte V herkämen, welcher weiter von der Linſe abſteht, als der leuchtende Punkt.

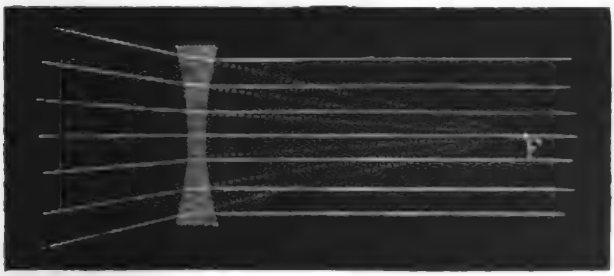
Wie man für eine gegebene Lage des leuchtenden Punktes die Lage des Vereinigungspunktes (oder in dem zuletzt besprochenen Falle des Zerstreuungspunktes) durch Rechnung finden kann, ist in §. 70 des Supplementbandes erörtert.

Fig. 293.



Hohllinsen. Aehnliche Betrachtungen lassen sich auch für Hohl- 131
linsen anstellen. Wenn die einfallenden Strahlen mit der Axe parallel sind, so divergiren die austretenden so, als kämen sie vom Hauptzerstreuungspunkte F, Fig. 294; rückt aber der leuchtende Punkt näher, ist er etwa in B, Fig. 295, **sind also schon die auffallenden Strahlen divergirend, so werden sie nach dem Durchgange durch die Linse noch stärker divergiren, als es für die parallel eintretenden Strahlen der Fall war, der Zerstreuungspunkt A rückt also um so mehr dem Glase näher, als der leuchtende Punkt näher kommt.**

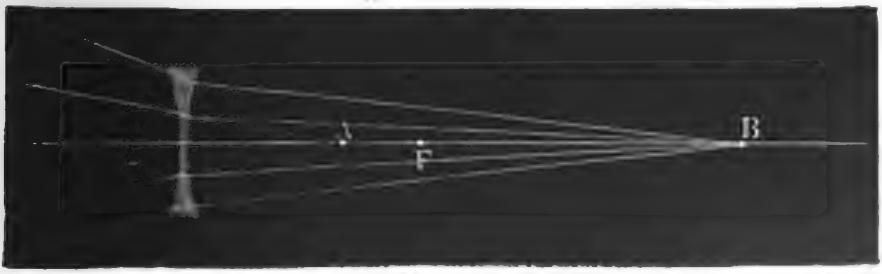
Fig. 294.



Es ist jetzt noch der Fall zu betrachten, daß die auffallenden Strahlen convergent sind. Man hat hier drei Fälle zu unterscheiden:

1. Wenn die einfallenden Strahlen gegen den Hauptzerstreuungspunkt F, Fig. 294, convergiren, so bilden die austretenden Strahlen ein mit der Axe der Linse paralleles Strahlenbündel.

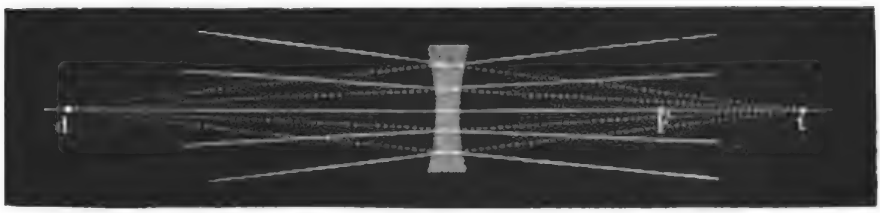
Fig. 295.



2. Wenn der Convergenzpunkt A, Fig. 295, der Linſe näher liegt, als der Hauptzerſtreuungspunkt F, ſo convergiren die Strahlen nach ihrem Durchgang durch die Linſe nach einem weiter von derſelben abſtehenden Punkte B.

3. Wenn der Convergenzpunkt t weiter von der Linſe entfernt iſt als der Hauptzerſtreuungspunkt F, Fig. 296, ſo divergiren die Strahlen nach ihrem Durchgang durch die Linſe ſo, als ob ſie von einem jenſeits der Linſe liegenden Punkte d kämen, der aber jedenfalls um mehr als die Zerſtreuungsweite von dem Glaſe abſteht. Je mehr der Convergenzpunkt t wegrückt, deſto näher rückt d an die Linſe heran.

Fig. 296.

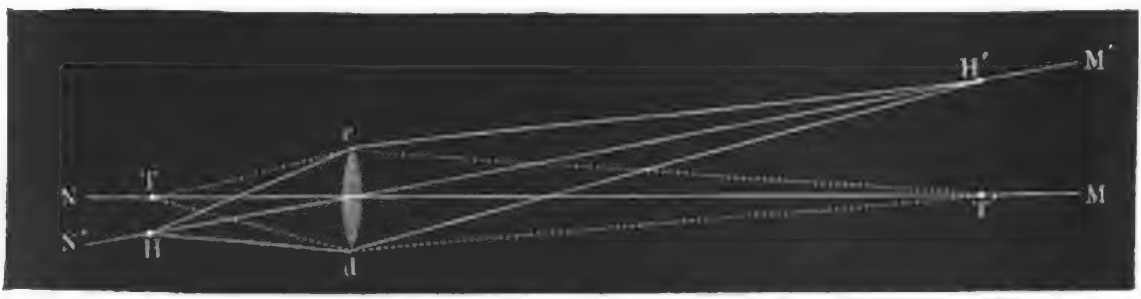


Die Betrachtung dieſes letzten Falles iſt für das Verſtändniß des Galiläiſchen Fernrohrs wichtig.

132 **Secundäre Axen.** Bisher haben wir nur ſolche leuchtende Punkte betrachtet, welche auf der Axe der Linſe ſelbſt liegen; es bleibt jetzt noch zu zeigen, daß das Geſagte auch für ſolche Punkte gilt, welche nicht auf der Hauptaxe liegen, vorausgeſetzt, daß die Nebenaxen (ſecundäre Axen) nur einen kleinen Winkel mit der Hauptaxe machen. Mit dem Namen der Nebenaxe bezeichnet man die Linie, welche man ſich von einem nicht auf der Hauptaxe liegenden Punkte durch die Mitte der Linſe gezogen denken kann.

In Fig. 297 ſei H ein nicht auf der Hauptaxe liegender leuchtender Punkt, ſo werden alle von ihm ausgehenden Lichtſtrahlen in einem Punkte H'

Fig. 297.



vereinigt werden, welcher auf der Nebenaxe $M'N'$ eben ſo weit von der Linſe abſteht, wie der Vereinigungspunkt T' der Strahlen, welche von einem Punkte T ausgehen, welcher, auf der Hauptaxe liegend, eben ſo weit von der Linſe entfernt iſt wie H.

Es iſt dies leicht zu beweiſen. Der mittlere Strahl HM' geht unge-

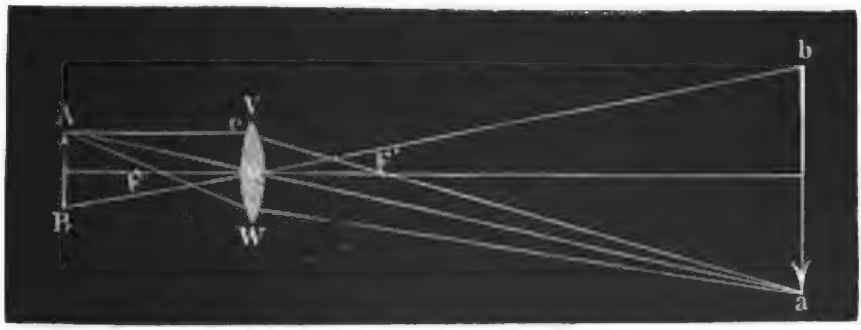
brochen durch die Linſe hindurch; ferner iſt (wenn auch nicht ganz genau, doch nahe) $Hc = Tc$ und Winkel $cTM = cHM'$; da der Strahl Tc in c eben ſo ſtark abgelenkt wird, wie Hc, ſo iſt noch Winkel $HcH' = TcT'$, folglich iſt das Dreieck $HcH' =$ Dreieck TcT', folglich $TT' = HH'$, H' iſt alſo eben ſo weit von der Linſe entfernt wie T'.

Daſſelbe ergiebt ſich auch aus der Vergleichung der Dreiecke TdT' und HdH'.

Das Feld einer Linſe iſt der Winkel, welchen zwei der Nebenaxen mit einander noch machen können, ohne daß die Vorausſetzungen unſeres Beweiſes merklich unrichtig werden.

Von den durch Linſen erzeugten Bildern. In Fig. 297 133 ſei AB ein Gegenſtand, der ſich auf der einen Seite von der Linſe VW befin-

Fig. 298.



det, aber weiter von ihr abſteht als der Brennpunkt F. Die von A ausgehenden Strahlen werden in einem Punkte a auf der von A durch die Mitte o der Linſe gezogenen Nebenaxe vereinigt; a iſt alſo das Bild von A; ebenſo iſt b das Bild von B, mithin iſt auch ab das Bild des Gegenſtandes AB; das Bild iſt in dieſem Falle verkehrt und iſt ein wahres Sammelbild.

Von der Mitte der Linſe aus geſehen, erſcheinen Bild und Gegenſtand unter gleichem Winkel, denn der Winkel boa iſt dem Winkel BoA als ſeinem Scheitelwinkel gleich; ob nun das Bild oder der Gegenſtand größer iſt, hängt demnach davon ab, ob Bild oder Gegenſtand weiter vom Glaſe entfernt ſind. Nehmen wir an, der Gegenſtand liege um die doppelte Brennweite von dem Glaſe entfernt, ſo wird das Bild auf der anderen Seite in gleicher Entfernung entſtehen; in dieſem Falle iſt alſo Bild und Gegenſtand gleich groß. Rückt der Gegenſtand dem Glaſe näher, ſo entfernt ſich das Bild, es wird alſo größer. Von ſolchen Gegenſtänden alſo, die um mehr als die Brennweite, aber weniger als die doppelte Brennweite von dem Glaſe abſtehen, erhält man verkehrte vergrößerte Bilder; ſo iſt in unſerer Figur das Bild ab größer als der Gegenſtand AB.

Wenn der Gegenſtand weiter vom Glaſe entfernt iſt als die doppelte Brennweite, ſo liegt das Bild näher; von entfernten Gegenſtänden erhält man alſo verkehrte verkleinerte Bilder. Wäre ab, Fig. 298, ein ſolcher Gegenſtand, der um mehr als die doppelte Brennweite vom Glaſe abſteht, ſo würde man das verkleinerte Bild AB erhalten.

Nennen wir g die Größe des Gegenſtandes, g' die des Bildes, b die Entfernung des Gegenſtandes und m die Entfernung des Bildes vom Glaſe, ſo iſt

$$g : g' = b : m,$$

d. h. Bild und Gegenſtand verhalten ſich wie ihre Entfernungen von der Linſe.

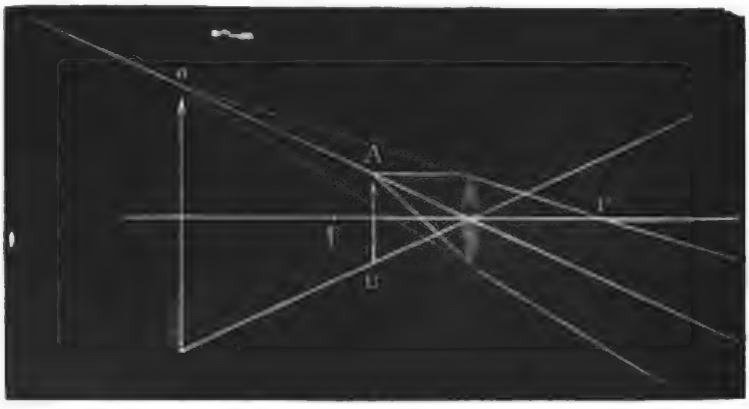
Bei einer Linſe von kurzer Brennweite liegen die Bilder entfernter Gegenſtände näher am Glaſe, als bei einer ſolchen von größerer Brennweite; von entfernten Gegenſtänden geben alſo die Linſen um ſo kleinere Bilder, je kürzer ihre Brennweite iſt; umgekehrt iſt für den Fall, daß die Linſe vergrößerte Bilder kleiner Gegenſtände giebt, welche ſich in der Nähe ihres Brennpunktes befinden, bei gleicher Entfernung des Bildes von der Linſe das Bild derjenigen Linſen das größere, welche eine geringere Brennweite haben, weil bei dieſer der Gegenſtand näher an die Linſe heranrückt.

Fig. 299 zeigt, wie man die eben beſprochenen Geſetze der durch Linſengläſer erzeugten Sammelbilder durch den Verſuch beſtätigen kann.

Fig. 299.

Wenn der Gegenſtand ſich innerhalb der Brennweite der Linſe befindet, ſo kann kein Sammelbild von ihm entſtehen, weil die Strahlen, welche von einem leuchtenden Punkte ausgehen, der dem Glaſe näher liegt als der Brennpunkt, nach ihrem Durchgange durch das Glas immer noch divergiren. In Fig. 300 ſei AB ein ſolcher innerhalb der Brennweite ſich befindender Gegen-

Fig. 300.



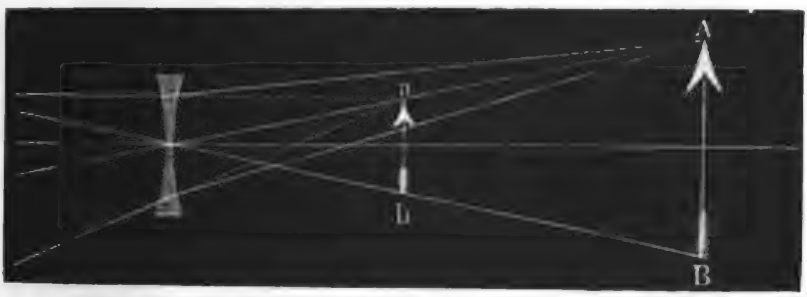
ſtand, ſo divergiren die von A ausgehenden Strahlen nach ihrem Durchgange durch das Glas ſo, als ob ſie von a kämen. Die Entfernung des Punktes a vom Glaſe kann man nach den oben angegebenen Conſtructionen leicht finden.

Die von B ausgehenden Strahlen divergiren nach dem Durchgange durch die Linſe ſo, als ob ſie von b kämen; ab iſt alſo das aufrechte vergrößerte Bild eines innerhalb der Brennweite befindlichen Gegenſtandes AB. Dieſes Bild unterſcheidet ſich aber von den bisher in dieſem Paragraphen beſprochenen Bildern weſentlich dadurch, daß es kein Sammelbild iſt. Die von einem Punkte des Gegenſtandes ausgehenden Strahlen divergiren nach ihrem Durchgang durch die Linſe ſo, als ob ſie von dem entſprechenden Punkte des Bildes ausgingen. Das Bild ab kann nicht auf einem Schirm aufgefangen werden, es iſt nur ſichtbar, wenn die aus der Linſe austretenden Strahlen unmittelbar ins Auge gelangen.

Von der Anwendung, welche man von Convexlinſen macht, um durch ſie kleine, innerhalb der Brennweite gehaltene Gegenſtände vergrößert zu ſehen, wird im §. 153 noch die Rede ſein. Eine zu dieſem Zweck verwendete Convexlinſe wird eine Loupe genannt.

Die Hohlgläſer geben keine Sammelbilder, ſondern nur Bilder der Art, wie ſie bei Convexlinſen entſtehen, wenn der Gegenſtand ſich innerhalb der Brennweite befindet. Da nun eine Hohllinſe die Strahlen, welche von einem Punkte ausgehen, noch divergenter macht, als ob ſie von einem näher am Glaſe liegen-

Fig. 301.



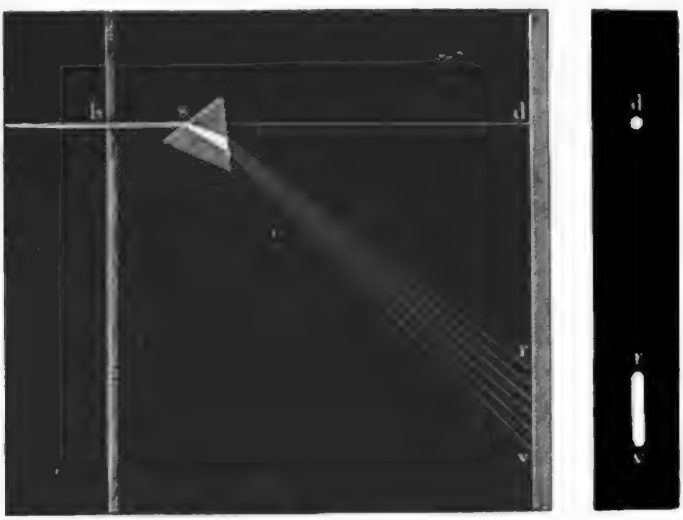
den Punkte kämen, ſo iſt klar, daß die Hohlgläſer verkleinerte Bilder der Gegenſtände zeigen, wie man leicht beim Anblicke der Fig. 301 überſehen wird, wo AB der Gegenſtand, ab das Bild iſt.

Viertes Capitel.

Zerlegung des weißen Lichtes.

134 **Das weisse Sonnenlicht ist aus verschieden gefärbten Strahlen zusammengesetzt.** Um dies zu beweiſen, braucht man nur auf die ſchon Seite 247 angegebene Weiſe ein Sonnenſpectrum zu bilden. Wenn durch eine kleine runde Oeffnung im Laden eines dunklen Zimmers ein Bündel Sonnenſtrahlen bd, Fig. 302, in ein finſteres Zimmer eintritt, ſo

Fig. 302. Fig. 303.



wird auf der der Oeffnung gegenüberſtehenden Wand ein runder weißer Fleck erſcheinen; fängt man aber das Strahlenbündel durch ein Prisma s auf, ſo erhält man das in die Länge gezogene gefärbte Bild rv. Fig. 304 Nr. 1 zeigt die Erſcheinung, wie man ſie auf der Wand beobachtet, wenn die brechende Kante des Prismas vertical ſteht.

Dieſes farbige in die Länge gezogene Sonnenbild wird das Spectrum genannt.

Die Länge des Spectrums iſt unter ſonſt gleichen Umſtänden um ſo größer, je größer der brechende Winkel des Prismas iſt. Auch von der Subſtanz, aus welcher das Prisma beſteht, hängt die Länge des Spectrums ab.

Der oberste Farbenstreifen in Fig. 304 stellt ein vollständiges Spectrum dar. Man unterscheidet in demselben sieben Hauptfarben in folgender Ordnung: Roth, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo und Violet.

Fig. 304.

Diese Farben werden die Regenbogenfarben, prismatische Farben oder auch einfache Farben genannt. Streng genommen, giebt es unzählig viele verschiedene Farben im Spectrum, da die Farben allmälig in einander übergehen, das Auge unterscheidet aber sieben Hauptnüancen.

Das rothe Ende des Spectrums ist jederzeit der Stelle zugekehrt, an welcher das runde weiße Sonnenbild *d*, Fig. 303, erscheinen würde, wenn das Prisma nicht da gewesen wäre; die rothen Strahlen haben also die geringste Ablenkung erfahren.

Wenn die Oeffnung im Laden eine Spalte von 1 bis 2 Millimeter Breite ist, welche der Axe des Prismas parallel steht; wenn der brechende Winkel des Prismas 60° ist und man das Spectrum in einer Entfernung von 2 bis 3 Metern auffängt, so erhält man schon eine recht vollständige Trennung der Farben, d. h. das Spectrum wird überall lebhaft gefärbt erscheinen und kein Weiß mehr in der Mitte zeigen.

Um das prismatische Farbenbild zu sehen, ist es nicht nöthig, daß man durch ein Prisma ein Sonnenspectrum auf einer weißen Wand hervorbringt; man braucht nur durch ein Prisma nach einem schmalen hellen Gegenstande hinzusehen. Betrachtet man z. B. eine Kerzenflamme durch ein vertical gehaltenes Prisma, so erscheint sie bedeutend in die Breite gezogen und auf die erwähnte Weise gefärbt. Betrachtet man überhaupt irgend einen schmalen weißen auf dunklem Grunde liegenden Streifen durch ein Prisma, dessen Kanten man parallel mit der Längsrichtung dieses Streifens hält, so sieht man das Bild desselben prismatisch gefärbt.

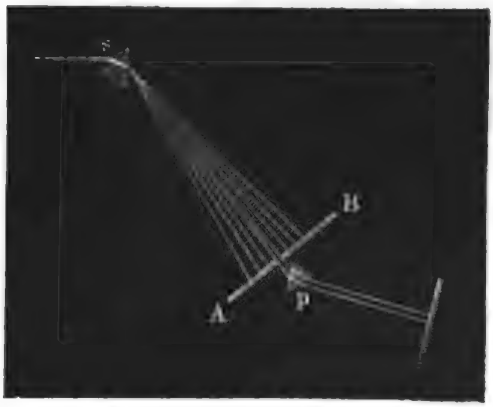
Die verschiedenfarbigen Lichtstrahlen sind ungleich brechbar. Dieser Satz geht schon daraus hervor, daß das weiße Licht durch ein Prisma in verschiedenfarbige Strahlen zerlegt wird; die rothen Strahlen bilden mit den violetten nach dem Durchgange durch das Prisma einen Winkel, sie divergiren, und zwar sind die violetten Strahlen mehr von ihrer ursprünglichen Richtung abgelenkt als die rothen. Die violetten Strahlen sind unter allen die am stärksten brechbaren, die rothen sind es am wenigsten. Die 135

Digitized by Google

grünen Strahlen sind stärker brechbar als die rothen und weniger als die violetten, weil im Spectrum das Grün zwischen Roth und Violet liegt.

Jede Farbe ist einfach, wenn sie sich auf keine Weise weiter in andere Farben zerlegen läßt; wir wollen nun zeigen, daß diese Eigenschaft wirklich den prismatischen Farben zukommt.

Fig. 305.

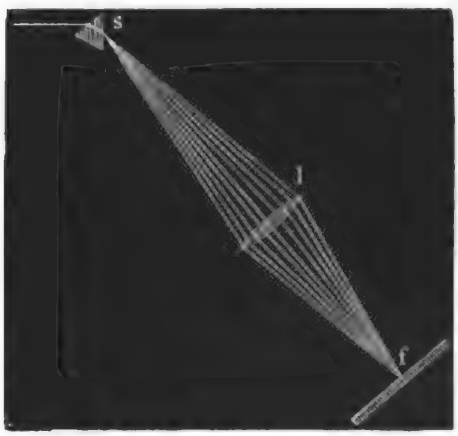


Wenn man ein Spectrum auf einer Wand auffängt, an einer bestimmten Stelle derselben, etwa da, wo die blauen Strahlen auffallen, einen Spalt macht, Fig. 305, so werden alle Farben aufgefangen, und nur ein schmales Strahlenbündel geht durch die Oeffnung hindurch; dieses Strahlenbündel nun läßt sich auf keinerlei Weise weiter zerlegen; wenn man es auch durch ein zweites Prisma p gehen läßt, so bleibt die Farbe doch unverändert.

Nach Newton nennt man das einfache Licht auch homogenes Licht.

136 **Aus den einfachen Farben des Spectrums lässt sich das weisse Licht wieder zusammensetzen.** Wenn man das Spectrum mit einer Linse l, Fig. 306, auffängt, so werden die verschiedenfarbigen Strahlen durch dieselbe in einem Punkte f vereinigt, und wenn man hier das Sonnenbild auf einem Papierschirme auffängt, so erscheint es wieder blendend weiß, obgleich verschiedenfarbige Strahlen auf die Linse auffielen. Hält man den Schirm nicht in den Punkt f, sondern weiter von der Linse weg, so erhält man wieder ein umgekehrtes Spectrum, ein Beweis, daß sich die verschiedenfarbigen Strahlen in f kreuzten.

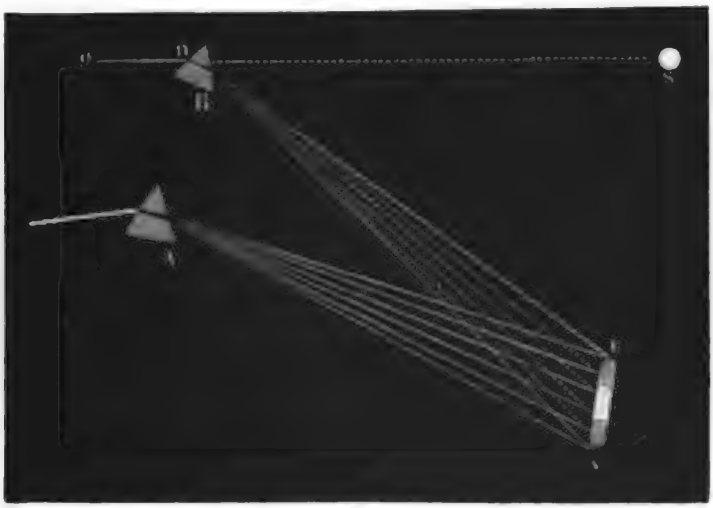
Fig. 306.



Daß die prismatischen Farben zusammen weiß geben, geht aus dem sehr überraschenden, ebenfalls von Newton angegebenen Versuche hervor, daß das lange prismatische Farbenbild, durch ein zweites Prisma gesehen, unter den geeigneten Umständen wieder als vollkommen weißer Streif erscheint. In Fig. 307 sei rv ein Spectrum, welches, durch das Prisma A erzeugt, auf einer weißen Wand aufgefangen ist. Wenn nun ein zweites Prisma B so aufgestellt wird, daß es dasselbe Spectrum rv an derselben Stelle erzeugen würde, wenn ein Sonnenstrahl in der Richtung on darauf fiele, so ist klar, daß auch die Strahlen, die von dem Spectrum rv auf dieses Prisma B fallen, sämmtlich in der Richtung no austreten werden; ein in o befindliches Auge muß also in der

Richtung ons ein weißes Bild des farbigen Spectrums ſehen. Die Stellung, die man dem Prisma B geben muß, läßt ſich leicht durch den Verſuch ausmitteln.

Fig. 307.



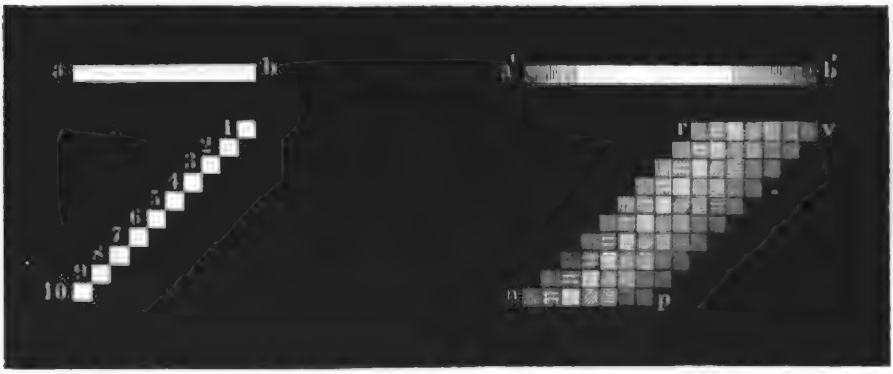
Wenn man eine kreisförmige Scheibe in ſieben Sectoren theilt und dieſe mit Farben bemalt, die den prismatiſchen möglichſt ähnlich ſind, ſo erſcheint die Scheibe bei raſcher Rotation nicht mehr farbig, ſondern weißlich; ſie würde vollkommen weiß erſcheinen, wenn die Sectoren mit den reinen prismatiſchen Farben bemalt werden könnten, und wenn die Breite der einzelnen farbigen Sectoren genau in demſelben Verhältniſſe zu einander ſtänden wie die Breiten der entſprechenden Theile des Spectrums. Um nach demſelben Principe mit reinen prismatiſchen Farben operiren zu können, brachte Münchow das Prisma mit einem Uhrwerke in Verbindung, um es in eine raſche oſcillirende Bewegung verſetzen zu können. Durch dieſe Bewegung des Prismas geht nun auch das auf einem Schirme aufgefangene Spectrum raſch hin und her, und da zeigt ſich denn ſtatt des farbigen Spectrums ein weißer Lichtſtreif, der nur an den Enden noch etwas farbig erſcheint. Das Auge empfängt nämlich von jedem Punkte des Schirmes raſch auf einander die Eindrücke aller einzelnen Farben, die einzelnen Eindrücke verwiſchen ſich und bringen ſo die Empfindung von Weiß hervor.

Wenn man einen ſchmalen weißen Streifen durch ein Prisma betrachtet, deſſen brechende Kante mit der Längsrichtung des Streifens parallel iſt, ſo erſcheint er als ein vollſtändiges Spectrum; betrachtet man aber denſelben weißen Streifen ab, Fig. 308 (a. f. S.), durch ein Prisma, deſſen brechende Kante rechtwinkelig ſteht auf der Längsrichtung des Streifens, ſo erſcheint er als ein etwas verlängerter Streifen, welcher in der Mitte vollkommen weiß bleibt. Nur an den Enden iſt er etwas gefärbt, und zwar roth bei a', blau bei b'.

Es läßt ſich dies leicht erklären. Denken wir uns eine Reihe kleiner weißer Quadrätchen auf ſchwarzem Grunde ſo zuſammengeſtellt, wie es unſere Figur zeigt, ſo wird jedes derſelben, durch ein Prisma betrachtet, ein vollſtändiges Spectrum bilden. Iſt die brechende Kante parallel mit der verticalen Kante der Quadrätchen, ſo erſcheint das oberſte Quadrat als Spectrum in rv,

und jedes nach unten folgende giebt ein gleiches, nur gegen das obere etwas nach links verrücktes Spectrum, wie es unsere Figur zeigt. Das unterste weiße Quadrätchen giebt das Spectrum np.

Fig. 308.



Denken wir uns nun alle Quadrätchen vertical in die Höhe geschoben, bis sie mit 1 einen horizontalen Streif bilden, welcher dem Streifen ab gleich ist, so werden nun auch alle die Spectra über einander geschoben, welche den einzelnen weißen Quadrätchen entsprechen. Auf das Indigo im Spectrum des ersten Quadrates fällt das Violet aus dem Spectrum des zweiten. Auf das Blau im Spectrum des ersten Quadrates fällt das Indigo aus dem Spectrum des zweiten, und das Violet aus dem Spectrum des dritten u. s. w. In dem mittleren Theile fallen endlich alle Farben auf einander; so fällt z. B. auf das Roth im Spectrum des ersten Quadrates das Orange aus dem Spectrum des zweiten, das Gelb aus dem Spectrum des dritten, das Grün, Blau, Indigo und Violet aus dem Spectrum des vierten, fünften, sechsten und siebenten Quadrates; hier wie in dem ganzen mittleren Theile des durch Aufeinanderschieben der einzelnen Spectra entstehenden Streifens muß also Weiß gebildet werden, welches, wie man aus dem Anblicke der Figur leicht ableiten kann, am einen Ende durch Gelb in Roth, am anderen durch Blau in Violet übergehen muß, welche letztere Farbe aber meist wegen ihrer Lichtschwäche kaum merklich ist.

Was hier von dem weißen Papierstreifen gesagt ist, gilt von jedem weißen Gegenstande von bedeutender Ausdehnung, den man durch ein Prisma betrachtet, er erscheint nur an den Rändern gefärbt.

Ein breiter schwarzer Streifen auf weißem Grunde bietet, durch ein Prisma betrachtet, gerade die umgekehrten Erscheinungen dar; das prismatische Bild erscheint nämlich an dem Ende, welches am wenigsten abgelenkt ist, mit einem violetten und blauen Rande, am anderen Ende aber mit einem rothen und gelben. Um diese Umkehrung zu erklären, braucht man nur zu bedenken, daß die Farben nicht von dem schwarzen Streifen selbst, sondern von den weißen Räumen herrühren, die ihn begränzen. Wenn der schwarze Streifen selbst sehr schmal ist, so verschwindet im Bilde das Schwarz in der Mitte vollständig.

137 **Von den complementären Farben.** Da alle einfachen Farben, im richtigen Verhältnisse (d. h. in dem Verhältnisse, wie es das Spectrum

giebt) vereinigt, weißes Licht bilden, so reicht es hin, eine oder mehrere der einfachen Farben zu unterdrücken oder nur ihr Verhältniß zu ändern, um aus Weiß irgend einen Farbenton zu machen. Unterdrückt man z. B. im weißen Lichte das Roth des Spectrums, während alle anderen Farben ungeändert bleiben, so wird man eine grünliche Färbung erhalten, der man nur wieder Roth hinzufügen darf, um das Weiß wieder herzustellen. Zwei Farbentöne, welche diese Bedingung erfüllen, d. h. welche zusammengenommen Weiß geben, heißen *complementäre* Farben. Jede Farbe hat auch ihre complementäre; denn wenn sie nicht weiß ist, so fehlen ihr gewisse Strahlen, um Weiß zu bilden, und diese fehlenden Strahlen zusammengenommen machen die complementäre Farbe aus.

Eine einfache Modification des in Fig. 307 dargestellten Versuches erläutert vortrefflich die Lehre von den complementären Farben. Wenn man nämlich hinter dem spectrumerzeugenden Prisma A einen Schirm aufstellte, welcher irgend einen Theil des Spectrums $r\,v$ auffängt, so daß nur ein Theil desselben übrig bleibt, so wird dieser, durch das Prisma B betrachtet, vor wie nach in s erscheinen, aber nicht mehr weiß, sondern gefärbt.

Fängt man z. B. am einen Ende des Spectrums das Roth und Orange auf, so daß nur noch Gelb, Grün, Blau, Indigo und Violet u. s. w. bleiben, so wird das Bild bei s einen grünen Farbenton annehmen, welcher aus den eben genannten einfachen Farben zusammengesetzt ist. Das aufgefangene Roth und Orange bilden zusammen einen rothen Farbenton, welcher *complementär* ist zu der grünen Färbung, welche oben das Bild s zeigt, denn die Bestandtheile beider Farbentöne bilden das volle Spectrum, sie geben also vereinigt Weiß.

Fängt man das rothe Ende des Spectrums von der Mitte des Grün an auf, so daß von dem Spectrum $r\,v$, Fig. 307, nur noch die Hälfte des Grün, Blau, Indigo und Violet bleibt, so wird das Bild s einen *bläulichen* Farbenton zeigen, welcher complementär zu dem gelblichen Farbenton ist, welchen es annimmt, wenn gerade die andere Hälfte des Spectrums aufgefangen wird, so daß nur Roth, Orange, Gelb und die Hälfte des Grün übrig bleiben.

Diese Beispiele werden hinreichen, den Begriff der complementären Farben zu erläutern. Wir werden später noch öfters Gelegenheit haben, von complementären Farben zu reden.

Die natürlichen Farben der Körper. Wenn ein von weißem 138
Lichte getroffener Körper farbig erscheint, so liegt der Grund davon darin, daß er nur einen Theil der in dem auffallenden Lichte enthaltenen farbigen Strahlen durchläßt oder zerstreut, die anderen aber verschluckt oder absorbirt.

Ein rothes Glas z. B. läßt nur rothe, vielleicht noch wenige orangene Strahlen durch; es absorbirt aber Gelb, Grün, Blau, Indigo und Violet vollständig. Wenn man also zwischen den Spalt b und das Prisma s, Fig. 302 Seite 258, ein rothes Glas bringt, so daß nur durch dieses Glas gegangene Strahlen auf das Prisma fallen, so verschwindet das ganze Spectrum bis auf Roth und etwas Orange.

Untersucht man auf gleiche Weise die schön blaue Farbe einer Lösung von

schwefelsaurem Kupferoxyd-Ammoniak (die Flüssigkeit muß zwischen parallelen Glasplatten enthalten sein), so verschwindet das rothe und das violette Ende des Spectrums. Es bleibt nur noch Blau und Indigo.

Eine Lösung von schwefelsaurem Indigo auf gleiche Weise angewandt, läßt von dem ganzen Spectrum nur den Fig. 304 Nr. 2 Seite 259 dargestellten Theil übrig, nämlich einen rothen und einen blauen Fleck, welche durch einen dunklen Zwischenraum getrennt sind. Das Blau der Indigolösung enthält also noch Roth, welches im Blau des schwefelsauren Kupferoxyd-Ammoniaks ganz fehlt.

Um die Farben undurchsichtiger Körper durch das Spectrum zu untersuchen, braucht man sie nur bei *r v*, Fig. 302 Seite 258, statt des weißen Schirmes zu halten. Hält man an diese Stelle ein hochrothes Papier, so sieht man nur noch das rothe Ende des Spectrums; da, wo gelbes, grünes, blaues Licht auffällt, ist das Papier ganz dunkel.

Fängt man das Spectrum durch ein mit Ultramarin gefärbtes Papier auf, so erscheint nur das Blau hell leuchtend, die anderen Farben mehr oder weniger dunkel.

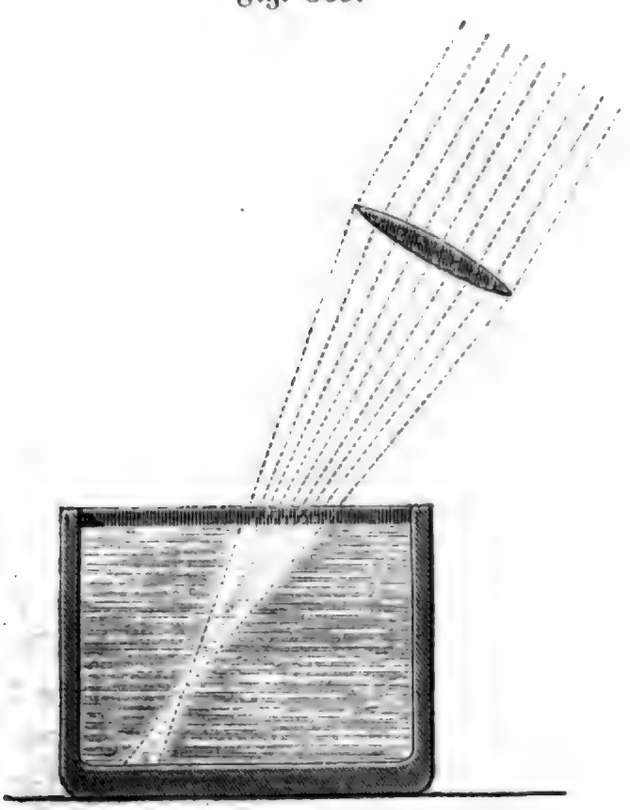
Interessante Resultate hat die Untersuchung farbiger Flammen geliefert. Die Flamme des reinen Weingeistes ist nur schwach leuchtend; sie wird aber intensiv gelb gefärbt, wenn man Kochsalz auf den Docht streut. Durch Strontiansalze wird die Weingeistflamme roth, durch Bariumsalze und durch Kupfersalze wird sie grün gefärbt. Bringt man nun vor eine so gefärbte Flamme einen Schirm mit einem schmalen Spalt und analysirt man das durch den Spalt hindurchgehende Licht mittelst eines Prismas, so findet man, daß das Spectrum dieser Flammen sich auf einzelne helle Streifen reducirt, welche für jede der genannten Substanzen eine bestimmte feste Lage haben. So reducirt sich das Spectrum des Kochsalzes oder anderer Natriumsalze auf eine einzige helle Linie im Gelb. Das Spectrum der Strontiansalze ist charakterisirt durch einen hellen Streifen im Orange, mehrere Streifen im Roth und eine feinere helle Linie im Blau. Das Spectrum der Calciumsalze ist außer mehreren schwächeren Streifen durch zwei hellere und breitere Streifen ausgezeichnet, von denen der eine im Grün, der andere im Orange liegt. Die Bariumsalze geben ein ganzes Gitter heller Streifen im Grün und Gelb.

Bunsen hat die Spectralanalyse von Flammen, in welchen er chemisch zu untersuchende Substanzen glühend macht und verflüchtigt, benutzt, um mittelst der charakteristischen hellen Linien die geringsten Mengen der oben genannten und anderer Metallsalze nachzuweisen, er benutzt also gleichsam das Prisma zur Ausführung qualitativer chemischer Analysen.

139 **Fluorescenz und Phosphorescenz.** Die meisten Körper reflectiren oder zerstreuen nur solche farbige Strahlen, welche bereits im auffallenden Lichte enthalten sind. So verschwindet z. B. das schöne Roth einer Siegellackstange, wenn sie nur von dem gelben Lichte einer Weingeistlampe, auf deren Docht etwas Kochsalz gestreut ist, beleuchtet wird, oder wenn man sie in den grünen,

blauen u. s. w. Theil des Spectrums hält; kurz die Siegellackstange zeigt nur dann ihr schönes Roth, wenn rothes Licht in den auffallenden Strahlen enthalten ist.

Fig. 309.



Nun giebt es aber einige Körper, welche Farben zeigen, die in dem auffallenden Lichte nicht enthalten sind, welche also gewissermaßen die Farbe des auffallenden Lichtes zu verwandeln vermögen. Solche Körper zeichnen sich durch ein eigenthümliches Schillern auf der Oberfläche aus, wie man es z. B. bei einer Lösung von schwefelsaurem Chinin, einem alkoholischen Extract von Stechapfelsamen, einem ätherischen oder alkoholischen Auszug aus grünen Blättern u. s. w. beobachtet.

Feste Körper, welche diese Eigenthümlichkeit besitzen, sind: mit Uran grün gefärbtes Glas und einige Varietäten von Flußspath, woher denn auch der Name Fluorescenz.

Wenn man einige Stückchen von der Rinde des gewöhnlichen Roßkastanienbaumes mit Wasser übergießt, so wird dieses schon nach einigen Secunden schön hellblau schillernd. Der Stechapfelextract zeigt auf seiner Oberfläche einen grünlichen, das Blattgrün einen rothen Schimmer.

Um diesen Farbenschimmer deutlicher zu sehen, concentrirt man mittelst einer Linse von 1 bis 2 Zoll Brennweite ein Bündel Sonnenstrahlen gegen den zu untersuchenden Körper, wie es Fig. 309 andeutet. Der Theil des Strahlenkegels, welcher innerhalb des fluorescirenden Körpers liegt, erscheint dann als ein farbiger Strahlenbüschel, welcher meistens an der Oberfläche am lebhaftesten gefärbt ist. Dieser Büschel ist

Roth	im Blattgrünauszug,
Grünlich . . .	in der Stechapfeltinctur,
Grün . . .	in der Curcumatinctur,
Hellblau . . .	in der Chininlösung,
Hellblau . . .	im Kastanienrinden-Auszug,
Blau	im Flußspath,
Grün . . .	im Uranglas.

Wenn man auf die angegebene Weise den grünen Lichtkegel im Uranglas erzeugt und nun eine Lösung von schwefelsaurem Kupferoxyd-Ammoniak dicht vor die Linse hält, so daß nur blaues Licht auf das Glas fällt, so bleibt

deſſenungeachtet der grüne Lichtkegel ſichtbar; das blaue Licht alſo, welches durch die blaue Löſung hindurchgegangen iſt, erzeugt Grün im Uranglas.

Betrachtet man den grünen Büſchel des Uranglaſes durch dieſelbe blaue Flüſſigkeit, ſo verſchwindet er faſt vollkommen.

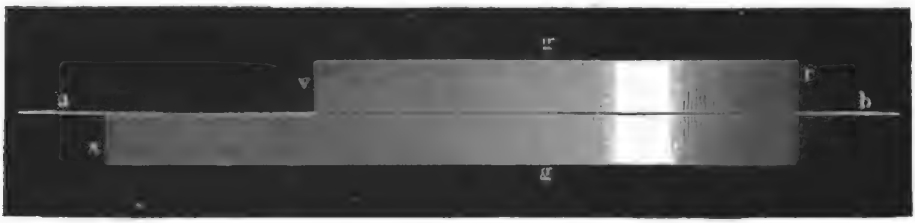
Wendet man ſtatt der blauen eine grüne Flüſſigkeit, etwa eine Löſung von Chlorkupfer an, ſo verſchwindet der grüne Büſchel im Uranglas, wenn man ſie vor die Linſe hält; das auffallende grüne Licht kann alſo den grünen Büſchel nicht erzeugen; dagegen iſt der grüne Büſchel durch die grüne Flüſſigkeit ſichtbar.

Aehnliche Erſcheinungen beobachtet man bei anderen fluoreſcirenden Körpern.

Am auffallendſten zeigt ſich die Wirkung der fluoreſcirenden Körper, wenn man ſie ſtatt eines weißen Schirmes anwendet, um das Spectrum aufzufangen, wenn man ſie alſo an die Stelle rv, Fig. 302 Seite 258, bringt.

Sehr geeignet zu dieſem Verſuche iſt ein Papier, welches zur Hälfte mit einer Löſung von Curcumatinctur angeſtrichen iſt, wie Fig. 310 zeigt, wo ab

Fig. 310.



die Trennungslinie zwiſchen dem weißen und dem angeſtrichenen Theile des Papiers darſtellt. Man erblickt dann auf der oberen weißen Hälfte des Papiers ein gewöhnliches Spectrum rv, das rothe Ende bei r, das violette bei v. Auf der unteren Hälfte aber erſcheint es weit über die violette Gränze des gewöhnlichen Spectrums hinaus verlängert, und zwar erſcheint der ganze Streifen von dem Grün bei g an bis x in einem grünlichen Lichte. Wo alſo Blau, wo Violet auf das Curcumapapier auffällt, ſieht man nicht dieſe Farben, ſondern einen grünlichen Ton, welcher auch durch die ultravioletten, für ſich ſelbſt nicht ſichtbaren, zwiſchen v und x auffallenden Strahlen erzeugt wird.

Zwiſchen g und r erſcheint das Spectrum auf der unteren Hälfte des Papiers ebenſo wie auf der oberen.

Bringt man eine Blattgrünlöſung in ein mit ebenen Glaswänden begränztes Gefäß, um ſo mit derſelben das Spectrum aufzufangen, ſo erſcheint die Vorderfläche der Flüſſigkeit der ganzen Länge des Spectrums nach roth; alſo die gelben, grünen, blauen und violetten vom Prisma her auf die Blattgrünlöſung fallenden Strahlen bringen ſämmtlich auf der Oberfläche der Blattgrünlöſung rothes Licht hervor.

Verfährt man auf gleiche Weiſe mit der Chininlöſung oder dem Kaſtanienrinden-Aufguß, ſo ſieht man auf der Vorderfläche der Flüſſigkeit einen hellblauen Streifen, welcher ſich von der Stelle, wo die blauen Strahlen auffallen,

bis weit über die violette Gränze des Spectrums hinaus erstreckt. Die rothen, gelben und grünen Strahlen gehen durch diese Flüssigkeiten hindurch, ohne auf der Vorderfläche derselben eine Farbenerscheinung zu veranlassen.

Bemerkenswerth ist, daß es in den meisten Fällen nur die brechbareren Strahlen, also die blauen, violetten und die für sich unsichtbaren ultravioletten Strahlen sind, welche die Erscheinung der Fluorescenz hervorbringen.

Wir werden auf diesen Punkt später noch einmal zurückkommen, wenn von den chemischen Wirkungen des Lichtes die Rede sein wird.

In naher Beziehung zur Fluorescenz steht die Phosphorescenz. Schon lange hatte man die Erfahrung gemacht, daß einige Mineralien, z. B. Diamant, manche Varietäten von Flußspath u. s. w. im Dunklen leuchten, wenn sie vorher den Sonnenstrahlen ausgesetzt waren. Man hat diese Erscheinung Phosphorescenz genannt.

Ungleich stärker als alle natürlichen phosphoresciren die sogenannten künstlichen Leuchtsteine, welche aus Schwefelcalcium oder aus Schwefelbarium oder aus Schwefelstrontium bestehen, und zwar müssen diese Substanzen auf trocknem Wege unter dem Einfluß höherer Temperatur dargestellt werden, wenn sie nach der Insolation im Dunklen leuchten sollen.

Wenn man die Leuchtsteine nicht mit weißem, sondern mit farbigem Licht bestrahlt, wenn man etwa die Sonnenstrahlen durch rothe, grüne oder blaue Gläser auf dieselben fallen läßt, so findet man auch hier, daß das Licht, welches der Körper nachher im Dunklen ausstrahlt, nicht demjenigen gleich ist, von welchem er bestrahlt wurde. So leuchtet manches Präparat im Dunklen mit grünem, gelbem oder rothem Licht, nachdem es vorher von blauem Licht bestrahlt worden war.

Hier wie bei der Fluorescenz sind es vorzugsweise die stärker brechbaren blauen und violetten Strahlen, welche die Erscheinungen der Phosphorescenz hervorzurufen im Stande sind.

Man kann die Phosphorescenz als eine Fluorescenz bezeichnen, welche noch einige Zeit nach dem Aufhören der Bestrahlung fortdauert.

Von der zerstreuenden Kraft verschiedener Substanzen. 140 Das Auseinanderfahren der verschiedenfarbigen Lichtstrahlen, welches durch ein Prisma bewirkt wird, wird mit dem Namen der Farbenzerstreuung oder der Dispersion bezeichnet. Die zerstreuende Kraft einer Substanz ist um so größer, je größer die Differenz zwischen den Brechungsexponenten der rothen und violetten Strahlen ist.

Für Wasser ist der Brechungsexponent der rothen Strahlen 1,330, der Brechungsexponent der violetten Strahlen aber ist 1,344, die Differenz dieser beiden Brechungsexponenten ist also 0,014.

Für Flintglas sind die Brechungsexponenten der rothen und violetten Strahlen 1,628 und 1,671, die Differenz ist also 0,043; sie ist fast viermal so groß als beim Wasser.

Wenn man also ein Wasserprisma macht, welches, gehörig aufgestellt, die

rothen Strahlen eben so weit ablenkt als ein Flintglasprisma, so wird doch das Spectrum des Flintglasprismas fast viermal so breit sein als das Spectrum des Wasserprismas; die zerstreuende Kraft des Flintglases ist fast viermal so groß als die zerstreuende Kraft des Wassers.

Für Crownglas ist die Differenz zwischen den Brechungsexponenten der rothen und violetten Strahlen 0,021, also nur ungefähr halb so groß als für Flintglas; die zerstreuende Kraft des Flintglases ist also doppelt so groß als die des Crownglases, obgleich die Brechungsexponenten beider Glassorten sehr nahe gleich sind.

Zu denjenigen Flüssigkeiten, welche sich durch große zerstreuende Kraft auszeichnen, welche also sehr breite Farbenspectra liefern, gehören Benzol, Kreosot, Schwefelkohlenstoff und namentlich Cassiaöl (Zimmtöl). Für Schwefelkohlenstoff ist die Differenz der Brechungsexponenten der violetten und der rothen Strahlen 0,084, für Cassiaöl ist sie 0,108.

Eine ganz genaue Bestimmung der Brechungsexponenten der verschiedenfarbigen Strahlen in verschiedenen Medien, also auch der zerstreuenden Kraft verschiedener Medien wird erst durch die Fraunhofer'schen Linien möglich. Näheres darüber in den Paragraphen 75, 76 und 77 des Supplementbandes.

141 **Achromatische Prismen und Linsen.** Man nennt Prismen achromatisch, wenn sie die Eigenschaft haben, die Lichtstrahlen abzulenken, ohne sie zugleich in Farben zu zerlegen; achromatische Linsen solche, für welche die Brennpunkte der verschiedenfarbigen Strahlen genau zusammenfallen, welche also Bilder geben, die frei von farbigen Rändern sind. Man hielt lange Zeit den Achromatismus für unmöglich, d. h. man glaubte, daß das Licht ohne Zersetzung nicht abgelenkt werden könnte. Newton selbst hatte diese Ansicht, weil er glaubte, daß die Dispersion stets der brechenden Kraft der Körper proportional sei.

Nun aber haben spätere genaue Versuche gezeigt, daß Newton's Meinung in diesem Punkte irrig war; so ist z. B. der Brechungsexponent der mittleren (grünen) Strahlen des Spectrums für Crownglas 1,533, für Flintglas aber ist er 1,612, also nur 1,06mal größer, während die Dispersion (die Differenz zwischen dem Brechungsexponenten der violetten und der rothen Strahlen) für Flintglas, wie wir im vorigen Paragraphen gesehen haben, doppelt so groß ist als die des Crownglases.

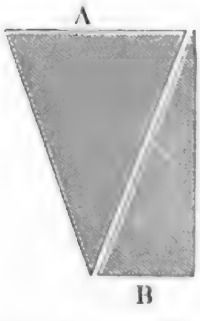
Ein Prisma von Crownglas und ein solches von Flintglas werden also gleich breite Spectra geben, wenn der brechende Winkel des Crownglasprismas ungefähr doppelt so groß ist als die des Flintglasprismas.

Wenn man also ein Flintglasprisma B mit einem Crownglasprisma A von doppelt so großem brechenden Winkel in der Weise combinirt, wie Fig. 311 zeigt, so wird die Farbenzerstreuung des Crownglasprismas A durch die gleiche und entgegengesetzte des Flintglasprismas aufgehoben.

Nun aber ist die Ablenkung, welche das Prisma B hervorbringt, nur ungefähr halb so groß als die durch das Prisma A hervorgebrachte, da bei nahezu

gleicher brechender Kraft beider Subſtanzen der brechende Winkel des Prismas B nur halb ſo groß iſt als der des Prismas A. Bei der Fig. 311 dargeſtellten Prismencombination wird alſo das Prisma B nur ungefähr die Hälfte der durch A hervorgebrachten Ablenkung aufheben können.

Fig. 311.

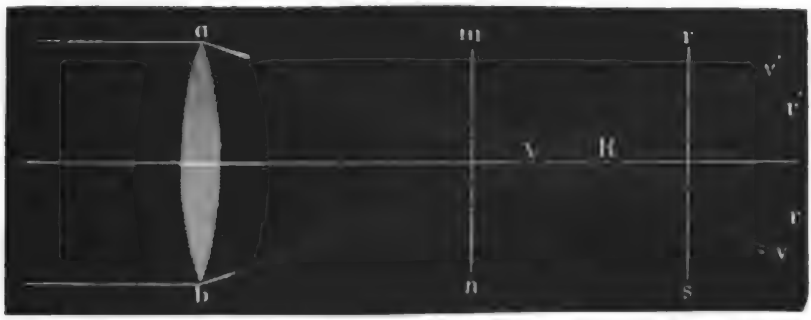


Die Prismencombination Fig. 311 liefert uns alſo eine prismatiſche Ablenkung ohne Farbenzerſtreuung, ſie bildet ein achromatiſches Prisma.

Aehnliche Betrachtungen laſſen ſich nun auch für Linſen anſtellen.

Eine jede einfache Linſe, aus welchem Stoffe ſie auch gebildet ſein mag, wird für jede andere Strahlenart auch einen anderen Brennpunkt haben, weil die Brechungsexponenten der verſchiedenfarbigen Strahlen nicht gleich ſind. Der Brennpunkt der ſtärker brechbaren violetten Strahlen liegt dem Glaſe näher als der Brennpunkt der rothen Strahlen. Fällt alſo ein Bündel weißes Licht parallel mit der Axe auf eine Convexlinſe $a\,b$, Fig. 312, ſo werden die violetten Strahlen in V, die rothen in R

Fig. 312.



vereinigt. Fängt man den aus der Linſe austretenden Strahlenkegel auf einem Schirme auf, ſo ſieht man einen beleuchteten Kreis mit gelbem und rothem Saume, wenn der Schirm zwiſchen V und dem Glaſe, etwa bei $m\,n$ ſteht; der helle Kreis erſcheint dagegen mit einem blauen Saume umgeben, wenn der Schirm ſich jenſeits R, etwa in $r\,s$ befindet, weil vor V die rothen und gelben, hinter R die blauen und violetten Strahlen die äußerſten des ganzen Strahlenbündels ſind.

Die Ungleichheit der Brennweite der verſchiedenfarbigen Strahlen, welche man mit dem Namen der chromatiſchen Aberration bezeichnet, hat zur Folge, daß die Bilder ſolcher Linſen mehr oder weniger unrein, daß ſie bald mehr oder weniger mit farbigen Säumen eingefaßt erſcheinen. Man kann ſich davon leicht überzeugen, wenn man durch eine ſtark gewölbte Linſe etwa die Lettern eines Buches betrachtet, oder durch eine ſolche Linſe das Bild entfernter Gegenſtände auf einer matten Glastafel erzeugt; man wird Alles mit farbigen Rändern umgeben ſehen. Weil nun aber dadurch die Schärfe der Bilder in Mikroſkopen ſowohl als auch in Fernröhren ſehr leidet, ſo war die Entdeckung der Conſtruction achromatiſcher Linſen für die praktiſche Optik von der größten Wichtigkeit.

Digitized by Google

Der Achromatismus der Linsen beruht auf denselben Principien wie der Achromatismus der Prismen; achromatische Linsen sind aus einfachen Linsen verschiedener Substanzen zusammengesetzt.

In der Regel werden achromatische Linsen durch Combination einer Convexlinse von Crownglas mit einer Zerstreuungslinse von Flintglas hergestellt, Fig. 313, deren letztere eine Zerstreuungsweite hat, welche nahe doppelt so groß ist als die Brennweite der ersteren. In diesem Falle kann die Flintglaslinse die Convergenz der aus der Crownglaslinse kommenden Strahlen zwar vermindern, aber nicht aufheben, während die Farbenzerstreuung vollständig corrigirt wird, da die zerstreuende Kraft des Flintglases doppelt so groß ist als die des Crownglases.

Fig. 313.

Solche Linsencombinationen werden achromatische Linsen genannt, weil sie reine, von farbigen Säumen freie Bilder geben.

Ausführlicheres über achromatische Linsen findet man im §. 79 des Supplementbandes.

Fünftes Capitel.

Vom Auge und den optischen Instrumenten.

Das Gesichtsorgan. Die Empfindung des Lichtes und der Farbe 142
rührt von einer Affection besonderer Nerven her, deren feine Enden sich als eine Nervenhaut ausbreiten. Die Empfindung des Dunklen rührt von einer vollkommenen Ruhe dieser Nervenhaut her, jeder Reiz derselben bringt aber die Empfindung von Helligkeit, von Licht hervor; ganz vorzüglich wird dieser Reiz durch die Lichtstrahlen hervorgebracht, welche die Körper der Außenwelt durch das Auge auf die Nervenhaut, die *Netzhaut*, senden; doch ist auch die Empfindung von Licht und Farbe durch andere Ursachen ohne Mitwirkung der von außen kommenden Lichtstrahlen möglich, z. B. durch den Druck des Blutes (Flimmern vor den geschlossenen Augen). Ein äußerer Druck auf das geschlossene Auge, eine elektrische Entladung u. s. w. sind ebenfalls im Stande, Lichtempfindungen hervorzubringen.

Zum Unterscheiden äußerer Gegenstände durch das Gesicht reicht es nicht hin, daß die von einem Körper ausgehenden Lichtstrahlen auf die Nervenhaut fallen; es sind lichtsondernde Apparate nöthig, welche bewirken, daß die von einem leuchtenden Punkte ausgehenden Strahlen nur eine bestimmte Stelle der Nervenhaut treffen, und daß von dieser Stelle die von anderen Punkten herkommenden Lichtstrahlen abgehalten werden; auf diese Weise sind die verschiedenen Stellen der Netzhaut verschieden afficirt, und dadurch wird eine Unterscheidung möglich. Wo solche lichtsondernde Apparate fehlen, wie dies bei vielen niederen Thierclassen der Fall ist, da kann kein eigentliches Sehen, sondern nur eine Unterscheidung von Licht und Dunkel, von Tag und Nacht stattfinden; doch sind selbst für eine solche Lichtempfindung noch besondere Nervenapparate nöthig.

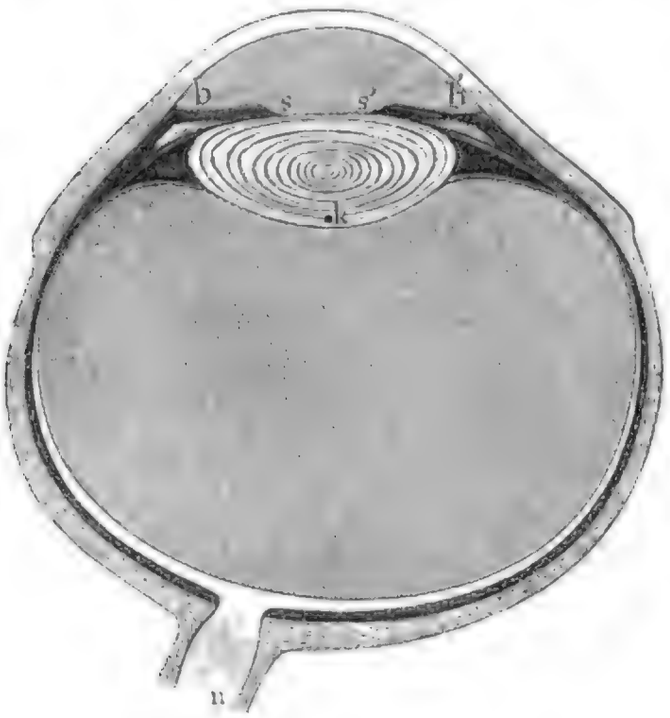
Nicht bei allen Thierclassen, bei denen ein eigentliches Sehen stattfindet, sind die zur Isolirung der Lichteindrücke bestimmten Apparate auf dieselbe Weise eingerichtet; man unterscheidet zwei wesentlich verschiedene Arten von Augen, nämlich 1. die *musivisch zusammengesetzten* Augen der Insecten und Crustaceen und 2. die *mit Sammellinsen versehenen Augen* der Wirbelthiere.

Die Untersuchung der musivisch zusammengesetzten Augen ist mehr ein Gegenstand der Physiologie und vergleichenden Anatomie als der Physik: wir

wenden uns deshalb sogleich zu den einfachen Augen mit Sammellinsen, mit welchen die höheren Thierclassen und die Menschen versehen sind.

143 **Einfache Augen mit Sammellinsen.** Auf der Netzhaut der mit Collectivlinsen versehenen Augen entsteht das Bild ganz auf dieselbe Weise, wie die Sammelbilder der gewöhnlichen Linsen; die von einem Punkte des Gegenstandes ausgehenden Strahlen, welche die Vorderfläche des Auges treffen, werden nämlich durch die durchsichtigen Medien des Auges nach einem Punkte der Netzhaut hin gebrochen. Fig. 314 soll den Durchschnitt eines menschlichen Auges darstellen. Der ganze Augapfel ist von einer festen harten Haut umgeben, welche nur auf der Vorderseite durchsichtig ist; dieser durchsichtige Theil wird die Hornhaut (cornea), der weiße undurchsichtige Theil die harte Haut (tunica sclerotica) genannt; die durchsichtige Hornhaut ist stärker gewölbt als der übrige Theil des Augapfels. Hinter der Hornhaut liegt die farbige Regenbogenhaut bb' (iris), welche eben ist und die Wölbung der durchsichtigen Hornhaut gleichsam von dem übrigen Theile des Auges abschneidet. In der Mitte der Regenbogenhaut bei ss' befindet sich eine kreisförmige Oeffnung, welche von vorn gesehen vollkommen schwarz (das Schwarze im Auge) erscheint; diese Oeffnung führt den Namen der Pupille. Hinter der Iris und der Pupille befindet sich die Krystalllinse; sie befindet sich in einer durchsichtigen Kapsel, durch welche sie auch an der äußern Wand des Auges befestigt ist. Zwischen der Linse und der Hornhaut befindet sich eine klare, etwas salzige Flüssigkeit, die wässerige Feuchtigkeit (humor aqueus); der ganze Raum hinter der Linse ist dagegen mit einer durchsichtigen gallertartigen Substanz, der Glasfeuchtigkeit (humor vitreus), angefüllt. Die Krystalllinse selbst ist vorn flacher als hinten.

Fig. 314.

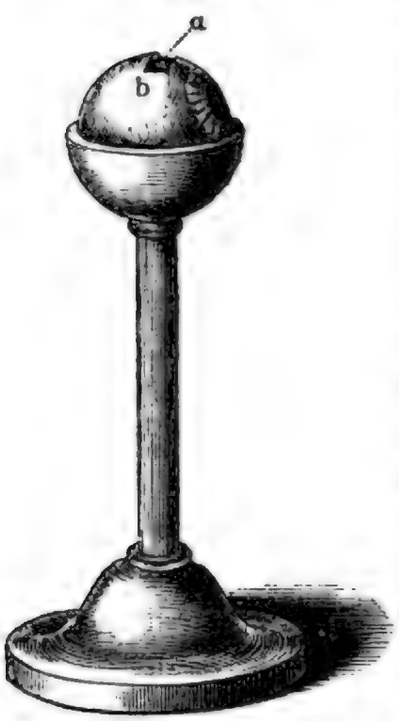


Ueber der Sclerotica ist im Innern des Auges die Aderhaut (tunica choroidea) ausgebreitet, und über dieser endlich liegt die Netzhaut (retina), welche nur eine Ausbreitung des Sehnerven n ist. Die Aderhaut, welche die ganze innere Höhlung des Auges bekleidet, ist mit einem schwarzen Pigment überzogen; diese Schwärzung ist nöthig, damit nicht durch Reflexionen im Innern des Auges die Reinheit der Bilder gestört wird. Aus demselben Grunde werden ja auch die Fernröhre innen geschwärzt.

Die Lichtstrahlen, welche auf das Auge fallen, treffen entweder auf den vordern Theil der Sclerotica, das Weiße im Auge, und werden unregelmäßig nach allen Seiten zerstreut, oder sie dringen durch die Hornhaut in das Auge ein; die äußeren der durch die Hornhaut eingedrungenen Strahlen fallen auf die Iris und werden nach allen Seiten hin unregelmäßig zerstreut, wodurch die Farbe der Regenbogenhaut sichtbar wird. Die centralen Strahlen endlich fallen durch die Pupille auf die Linse und werden durch dieselbe nach der Retina hin gebrochen, und zwar so, daß die von einem Punkte eines äußern Gegenstandes ausgehenden Strahlen, welche durch die Pupille gehen, in einem Punkte auf der Netzhaut wieder vereinigt werden. So entsteht denn auf der Netzhaut ein verkehrtes Bild der vor dem Auge befindlichen Gegenstände ganz in gleicher Weise wie das Bild auf der Rückwand einer camera obscura, die wir alsbald werden kennen lernen.

Man kann sich leicht durch den Versuch an einem etwas großen Thierauge, etwa an einem Ochsenauge, von der Existenz dieses Netzhautbildchens überzeugen; man braucht nur oben bei *b*, Fig. 315, ein viereckiges Loch in die Sclerotica zu schneiden und alles Undurchsichtige wegzunehmen, um durch diese Oeffnung von *a* her auf die Netzhaut sehen zu können. Damit das Auge möglichst seine Form behalte, legt man es in die halbkugelförmige Höhlung eines Stativs, wie es die Figur zeigt. — Meist quillt die Glasfeuchtigkeit aus der Oeffnung *b* hervor und verhindert, weil sie nicht mit ebener Fläche begränzt ist, daß man die Netzhautbildchen deutlich sehen kann. Diesen Uebelstand vermeidet man dadurch, daß man ein Glasplättchen auf die Oeffnung *b* legt. — Das Bild der Gegenstände, auf welche das Auge gerichtet ist, sieht man bei diesem Versuche verkehrt auf der Netzhaut. Leicht läßt sich auch das Bild auf der Netzhaut weißsichtiger Thiere, z. B. weißer Kaninchen, zeigen, bei welchen der schwarze Ueberzug der Aderhaut fehlt, während zugleich der hintere Theil der Sclerotica durchsichtig ist. An solchen Augen sieht man die Netzhautbilder ohne weitere Präparation.

Fig. 315.



Deutliches Sehen in verschiedenen Entfernungen. 144 Wir haben oben schon gesehen, daß das Bild einer Linse seine Lage ändert, wenn der Gegenstand genähert oder entfernt wird; das Bild entfernt sich nämlich um so mehr vom Glase, je näher der Gegenstand heranrückt. Da nun das Auge ganz so wirkt wie eine Linse, da wir die Gegenstände nur dann scharf sehen können, wenn die Vereinigungspunkte der gebrochenen Strahlen genau auf die Netzhaut fallen, wenn also auf der Netzhaut ein scharfes Bild entsteht, so sollte man meinen, daß wir nur in einer bestimmten Entfernung die Gegenstände deutlich

sehen könnten; doch zeigt die Erfahrung das Gegentheil: ein normales Auge kann alle Gegenstände deutlich sehen, die mehr als 8 Zoll weit entfernt sind, das Auge muß also offenbar die Fähigkeit haben, sich den verschiedenen Entfernungen zu accommodiren.

Man kann dies auch durch einen ganz einfachen Versuch darthun: Man mache auf eine durchsichtige Glastafel einen kleinen schwarzen Fleck und halte die Tafel 8 bis 10 Zoll weit vom Auge, so kann man willkürlich den Fleck oder durch die Glastafel hindurch die entfernteren Gegenstände deutlich sehen. Sieht man die entfernten Gegenstände deutlich, so erscheint der Fleck neblig und unbestimmt; umgekehrt aber erscheinen die fernen Gegenstände verwaschen, wenn man den Fleck deutlich sieht. Das Auge hat also die Fähigkeit, sich selbst für ein Sehen in die Nähe oder in die Ferne einzurichten.

Die Accommodation des Auges für verschiedene Entfernungen wird nach neueren Untersuchungen dadurch bewerkstelligt, daß die Krystalllinse durch besondere Muskeln mehr vor- oder mehr zurückgezogen werden kann.

145 **Weite des deutlichen Sehens, Kurzsichtigkeit und Fernsichtigkeit.** Für ein jedes Auge giebt es eine bestimmte Entfernung, über welche hinaus man die Gegenstände dem Auge nicht nähern darf, wenn man sie ohne Anstrengung noch deutlich sehen will; in diese Entfernung, welche die Weite des deutlichen Sehens oder auch nur die Sehweite genannt wird, hält man unwillkürlich beim Lesen ein Buch, welches mit Lettern von gewöhnlicher Größe gedruckt ist. Bringt man die Gegenstände etwas näher, so kann man sie nur mit Anstrengung deutlich sehen, bei noch größerer Nähe endlich ist gar kein deutliches Sehen mehr möglich. Bei einem normalen Auge beträgt die Weite des deutlichen Sehens 8 bis 10 Zoll. Ein Auge, dessen Sehweite geringer ist, nennt man kurzsichtig; wenn sie aber größer ist, weitsichtig.

Die Undeutlichkeit des Sehens ganz naher Gegenstände rührt daher, daß die von einem Punkte des nahen Gegenstandes ausgehenden Strahlen so stark divergiren, daß die brechenden Medien des Auges nicht im Stande sind, sie hinlänglich convergent zu machen, um ihre Vereinigung auf der Netzhaut zu bewirken; da ihr Vereinigungspunkt in diesem Falle hinter die Netzhaut fällt, so bilden sie auf derselben einen Zerstreuungskreis. Wenn man nun die Bildung dieses Zerstreuungskreises zu verhindern im Stande ist, so kann man selbst ganz nahe vor das Auge gebrachte Gegenstände noch deutlich sehen.

Man mache mit einer Stecknadel ein feines Loch in ein Kartenblatt und halte es dicht vor das Auge, so wird man durch dasselbe die Lettern eines ganz nahe gehaltenen Buches noch ganz deutlich, und zwar bedeutend vergrößert sehen, während man nach Entfernung des Kartenblattes durchaus keinen Buchstaben mehr zu erkennen im Stande ist. Der Grund liegt darin, daß von einem Punkte des ganz nahen Gegenstandes aus nur in einer einzigen Richtung durch die feine Oeffnung Strahlen ins Auge dringen können, und diese werden auch nur in einer einzigen Stelle die Netzhaut treffen, während, wenn das Kartenblatt die übrigen Strahlen nicht abhält, von einem Punkte des Gegenstandes

aus ein ganzer Strahlenkegel durch die Pupille ins Auge gelangt, welcher auf der Netzhaut einen Zerstreuungskreis bildet.

Durch eine feine Oeffnung in einem Kartenblatte, welches dicht vors Auge gehalten wird, sieht man begreiflicherweise nahe und ferne Gegenstände gleich scharf, ohne daß das Auge nöthig hätte, sich den Entfernungen zu accommodiren, da ja ohnehin die von einem Punkte des Gegenstandes ausgehenden Strahlen auch nur in einem Punkte die Netzhaut treffen. Offenbar befindet sich das Auge beim Hindurchschauen durch eine solche kleine Oeffnung im normalen Zustande, zu dessen Erhaltung gar keine Thätigkeit erfordert wird. Das Auge befindet sich in dem Zustande, wie es dem Sehen von Gegenständen, die sich in der Weite des deutlichen Sehens befinden, entspricht.

Hierher gehört auch der interessante und lehrreiche Scheiner'sche Versuch. Wenn man in ein Kartenblatt zwei feine Nadellöcher macht, deren Entfernung von einander kleiner sein muß als der Durchmesser der Pupille, und die Oeffnungen dicht vor das Auge hält, so sieht man einen kleinen Gegenstand, etwa einen Nadelknopf, den man innerhalb der Sehweite vor die Löcher hält, doppelt. Von dem kleinen Gegenstande gelangen nämlich nur zwei ganz feine Strahlenbündel durch die beiden Löcher ins Auge; diese beiden Strahlen convergiren aber nach einem Punkte, der hinter der Netzhaut liegt, sie treffen also die Netzhaut in zwei verschiedenen Punkten; es sind dies zwei isolirte Punkte des Zerstreuungskreises, welcher auf der Retina entstände, wenn die übrigen Strahlen nicht durch das Kartenblatt aufgefangen würden.

Wenn man den kleinen Gegenstand mehr und mehr entfernt, so nähern sich die Bilder, weil die beiden durch die Löcher ins Auge fallenden Strahlen nun weniger divergiren und also auch nach einem Punkte hin gebrochen werden, welcher der Retina näher liegt. Hat man den Gegenstand bis auf die Weite des deutlichen Sehens vom Auge entfernt, so fallen die beiden Bilder vollkommen zusammen, weil ja alle Strahlen, die von einem Punkte ausgehen, der gerade um die Weite des deutlichen Sehens vom Auge entfernt ist, in einem Punkte der Netzhaut vereinigt werden.

Entfernt man den Gegenstand über die Weite des deutlichen Sehens hinaus, so sieht man ihn abermals doppelt. Durch die beiden kleinen Oeffnungen also sieht man einen feinen Gegenstand nur dann einfach, wenn er sich in der Weite des deutlichen Sehens befindet.

Auf den Scheiner'schen Versuch hat man ein unter dem Namen des Optometers bekanntes Instrument gegründet, welches zur Ermittelung der Weite des deutlichen Sehens bei verschiedenen Individuen dient und welches im Supplementband Seite 174 ausführlicher besprochen ist.

Die Kurzsichtigkeit (Myopie) und die Weitsichtigkeit (Presbyopie) sind Fehler, deren Grund wohl am richtigsten in einem mangelhaften Accommodationsvermögen zu suchen ist, was besonders daraus hervorgeht, daß die Gewöhnung einen großen Einfluß auf diese Fehler ausübt. Kurzsichtigkeit entsteht oft dadurch, daß das Sehen in der Ferne vernachlässigt wird, und Kinder, welche beim Lesen und Schreiben das Gesicht zu dicht auf das Papier halten,

werden in Folge dessen kurzsichtig. Auch dadurch, daß man längere Zeit durch ein Mikroskop sieht, wird ein sonst normales Auge vorübergehend kurzsichtig, ja dieser Zustand dauert oft mehrere Stunden lang.

Das einfachste Mittel, die Fernsichtigkeit und Kurzsichtigkeit zu verbessern, besteht also darin, daß man eine feine, etwa in ein Kartenblatt gemachte Oeffnung dicht vor das Auge hält. Durch dieses Mittel wird aber die Schärfe des Bildes freilich auf Kosten der Helligkeit hergestellt.

Ein zweites Mittel sind die Brillengläser, und zwar wendet man bei kurzsichtigen Augen Hohlgläser, bei fernsichtigen Convexgläser an. Bei einem kurzsichtigen Auge fallen die Bilder ferner Gegenstände vor die Netzhaut; man verändert deshalb das Refractionsvermögen des Auges durch vorgesetzte Hohlgläser in der Weise, daß die von einem Punkte des Gegenstandes ausgehenden, ins Auge gelangenden Strahlen stärker divergiren, und macht dadurch ihre Vereinigung auf der Netzhaut möglich.

Bei fernsichtigen Augen fällt das Bild naher Gegenstände hinter die Netzhaut; man wendet deshalb Convexgläser an, um die von einem Punkte des Gegenstandes aus divergirenden Strahlen weniger divergent zu machen und dadurch ihren Vereinigungspunkt auf die Netzhaut zu bringen.

Je nachdem ein Auge mehr oder weniger kurzsichtig oder weitsichtig ist, muß man stärkere oder schwächere Gläser anwenden; man wählt die Gläser so, daß die Weite des deutlichen Sehens durch Mitwirkung der Gläser 8 bis 10 Zoll, also eben so groß ist, wie bei einem guten Auge.

Die Kurzsichtigkeit kommt am häufigsten im mittleren Lebensalter, die Fernsichtigkeit aber im höheren Alter vor.

146 **Beziehungen zwischen den Empfindungen des Auges und der Aussenwelt.** Der Act des Sehens beruht lediglich darauf, daß die Affectionen der Nervenhaut auf eine uns freilich unerklärliche Weise zum Bewußtsein kommen. Eigentlich nehmen wir also nur einen bestimmten Zustand, eine gewisse Affection der Netzhaut wahr; daß wir aber diese Wahrnehmung nach außen verlegen, daß wir die Netzhautbilder gleichsam in Anschauungen der Außenwelt verwandeln, ist Sache eines unmittelbaren Urtheils; in diesem Urtheile haben wir durch fortwährende übereinstimmende Erfahrungen eine solche Sicherheit erlangt, daß wir die Netzhaut gar nicht als wahrnehmendes Organ empfinden, daß wir die unmittelbaren Empfindungen mit dem verwechseln, was nach unserem Urtheile die Ursache derselben ist. Die Substitution des Urtheils für die Empfindung geschieht ganz unwillkürlich, sie ist uns so zu sagen zur andern Natur geworden.

Da wir überhaupt für die Empfindung auf der Netzhaut eine Vorstellung der Außenwelt setzen, so substituiren wir auch für jedes Netzhautbild einen Gegenstand außer uns. Daß wir den Gegenstand, welcher einem bestimmten Netzhautbildchen entspricht, nach einer bestimmten Richtung hin suchen, ist aber sicherlich ebenso das Resultat fortgesetzter consequenter Erfahrung, wie das Nach-

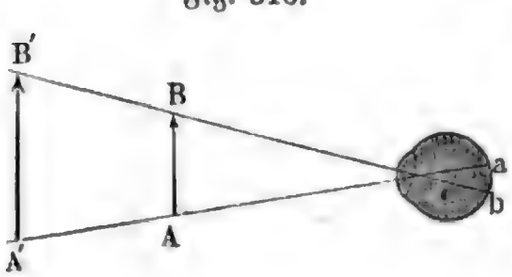
Außen-Wirken des Geſichtsſinnes überhaupt. Denken wir uns den Gegenſtand und ſein Netzhautbildchen durch eine gerade Linie verbunden, ſo iſt dies die Richtung, nach welcher die Bilder nach außen hin projiciren.

Es iſt oben gezeigt worden, daß von den äußeren Gegenſtänden auf der Netzhaut verkleinerte und verkehrte Bilder entſtehen, und es iſt deshalb die Frage aufgeworfen worden, warum wir nicht alle Dinge *verkehrt* ſehen. Dieſe Frage findet nun in den eben angeſtellten Betrachtungen ihre genügende Antwort; daß überhaupt ein Netzhautbild exiſtirt, daß ein Bildchen auf dem obern oder untern Theile der Netzhaut liegt, daß es ſich auf der rechten oder linken Seite derſelben befindet, erfahren wir erſt durch optiſche und anatomiſche Unterſuchungen; die Empfindung der Nervenhaut kommt nicht als ſolche zum Bewußtſein, ſondern ſie wird unwillkürlich nach einer beſtimmten Richtung nach außen hin projicirt, und zwar in derjenigen Richtung, in welcher ſich die Gegenſtände befinden, welche die Netzhautbilder veranlaſſen. Nach dieſer Richtung hin finden wir aber die Gegenſtände auch durch andere ſinnliche Wahrnehmungen, z. B. durch den Taſtſinn; es beſteht alſo zwiſchen den verſchiedenen ſinnlichen Wahrnehmungen in Beziehung auf die Ortsbeſtimmung die vollkommenſte Harmonie; wir würden die Gegenſtände verkehrt ſehen, wenn dieſe Uebereinſtimmung nicht ſtattfände.

Mit der durch das Geſichtsorgan vermittelten Vorſtellung der außer uns befindlichen Dinge verbinden wir auch eine Vorſtellung von ihrer Größe und Entfernung. Die Bildchen auf der Netzhaut liegen neben einander, und wenn wir die entſprechenden Gegenſtände nicht als unmittelbar neben einander, ſondern als hinter einander befindlich erkennen, kurz, wenn wir uns von der flächenhaften Wahrnehmung zu einer Vorſtellung der Tiefe des Raumes erheben, ſo iſt das nicht Sache der Empfindung, ſondern des Verſtandes. Das Kind hat noch keine Vorſtellung von den Entfernungen, es greift nach dem Monde, wie es nach Dingen in ſeiner Umgebung greift. Die Vorſtellung von der Tiefe des Sehraumes erhalten wir erſt dadurch, daß wir uns im Raume bewegen, daß ſich die Bilder bei dieſer Bewegung ändern, und daß wir durch unſere eigene Ortsveränderung einen Begriff von der Entfernung der Gegenſtände bekommen.

Die ſcheinbare Größe der Gegenſtände hängt von der Größe des Netzhautbildchens ab. Denken wir uns von den beiden Endpunkten eines Netzhautbildchens Linien nach den entſprechenden Endpunkten des Gegenſtandes gezogen, ſo ſchneiden ſich dieſe Linien unter einem Winkel, den man den *Sehwinkel* nennt; die Größe dieſes Winkels iſt aber der Größe des Netzhautbildes proportional, man kann deshalb auch ſagen, daß die ſcheinbare Größe der Gegenſtände von der Größe des Sehwinkels abhängt, unter welchem ſie erſcheinen. Zwei Gegenſtände von verſchiedener Größe, wie AB und $A'B'$, Fig. 316, können gleiche ſcheinbare Größe haben, wenn ihre Größe ihrer Entfernung vom

Fig. 316.



Auge proportional ist; verschiedene Gegenstände also, deren Größe sich verhält wie 1 : 2 : 3 u. s. w., werden in einfacher, doppelter, dreifacher Entfernung unter gleich großem Gesichtswinkel erscheinen.

Der Punkt im Auge, in welchem sich die Linien aA und bB schneiden, heißt der Kreuzungspunkt, er ist der Scheitelpunkt des Sehwinkels.

Unser Urtheil über die wahre Größe der Gegenstände und ihre Entfernung wird erst durch fortgesetzte Erfahrung erlangt und kann durch Uebung einen bewundernswürdigen Grad von Sicherheit erreichen.

147 **Sehen mit zwei Augen.** Wenn man mit beiden Augen einen nahen Gegenstand, etwa einen 1 Fuß weit vor das Gesicht gehaltenen Finger fixirt, so sieht man alle entfernteren Gegenstände doppelt.

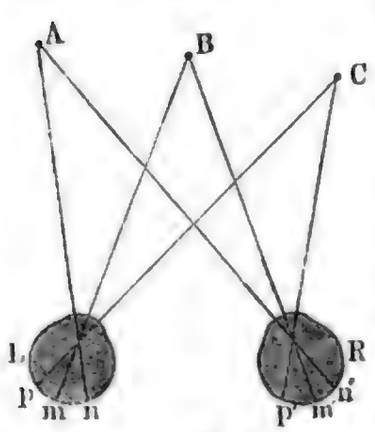
Umgekehrt sieht man den nahe vor das Gesicht gehaltenen Finger doppelt, wenn man mit beiden Augen einen fernen Gegenstand fixirt.

Das einfache Sehen mit zwei Augen ist nur dadurch möglich, daß jeder Stelle auf der Netzhaut des rechten Auges eine Stelle auf der Netzhaut des linken Auges in der Weise entspricht, daß die Reizungen dieser entsprechenden Stellen sich zu einem gemeinsamen Lichteindruck vereinigen.

Zwei solche correspondirende Stellen sind die in den folgenden Figuren mit m und m' bezeichneten, in welchen die Netzhaut von der Augenaxe getroffen wird. Die Augenaxe aber ist diejenige Linie, welche die Mitte der Hornhaut mit dem Mittelpunkt der Linse verbindet.

Andere entsprechende (correspondirende) Punkte liegen ungefähr gleich weit rechts oder gleich weit links von m und m', wie z. B. n und n', p und p', Fig. 317. Die Punkte A, B und C werden einfach gesehen, weil ihre Bilder in beiden Augen auf entsprechende Stellen der Netzhaut fallen; nämlich das Bild von A auf n und n', das Bild von B auf m und m', das Bild von C auf p und p'.

Fig. 317.



Wenn beide Augenaxen auf den nahen Gegenstand A, Fig. 318, gerichtet sind, so daß sein Bild auf die entsprechenden Punkte m und m' fällt, so sieht man ihn einfach, während man den entfernteren Punkt B doppelt sieht, weil sein Bild in beiden Augen nicht auf entsprechende Stellen der Netzhaut fällt, nämlich rechts von m im einen, links von m' im andern. Aus dem gleichen Grunde sieht man den nahen Punkt A doppelt, wenn beide Augenaxen, wie in Fig. 319, auf einen entfernten Gegenstand B gerichtet sind.

Das Sehen mit zwei Augen trägt wesentlich zur richtigeren Schätzung der Entfernungen näherer Gegenstände bei.

Wenn wir einen etwas näheren Gegenstand, etwa den Würfel W, Fig. 320, mit beiden Augen betrachten, so ist die Ansicht desselben für das linke Auge nicht ganz dieselbe, wie für das rechte. Das rechte Auge nämlich sieht die Vorder-

fläche des Würfels und die rechte Seite desselben, während für das linke Auge gleichfalls die Vorderseite, außerdem aber noch die linke Fläche des Würfels sichtbar ist.

Fig. 318.

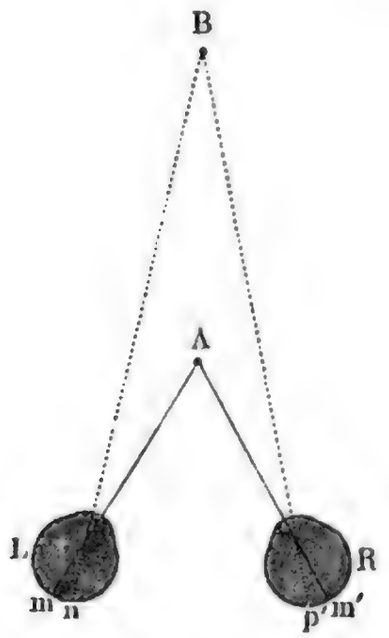


Fig. 319.

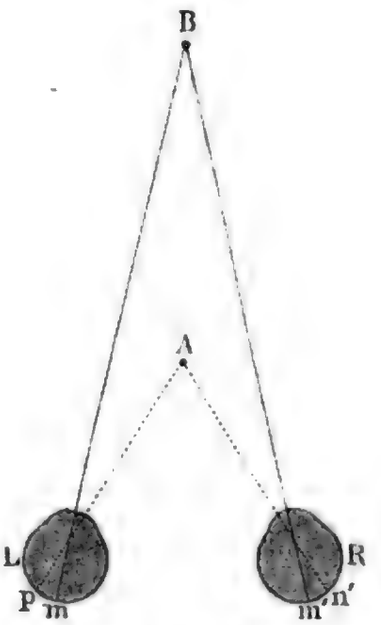
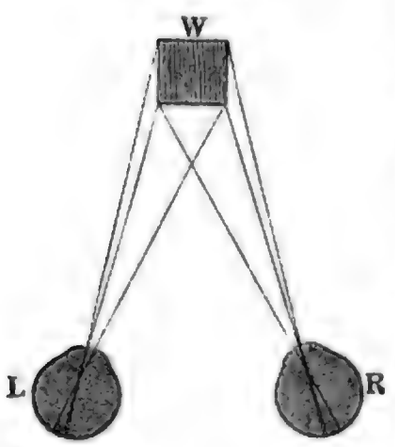


Fig. 320.



Dieser Umstand aber, daß für nicht zu weit entfernte Objecte die Ansichten beider Augen nicht gleich sind, ist vorzugsweise die Ursache, daß wir die Gegenstände nicht flächenhaft, sondern wahrhaft körperlich, plastisch sehen.

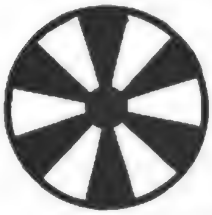
Es sei nun von irgend einem Gegenstande eine Zeichnung entworfen, wie sie dem rechten, und eine zweite, wie sie dem linken Auge entspricht, und dann diese Zeichnungen so vor die Augen gebracht, daß jedes Auge nur die ihm angehörige Zeichnung sehen kann, so müssen sich die Lichteindrücke beider Augen zu einer vollkommen körperlichen Anschauung combiniren, und darauf beruhen die überraschenden Effecte des Stereoskops, welches im ersten Bande meines Lehrbuchs der Physik ausführlicher besprochen ist.

Gränzen der Sichtbarkeit. Wenn ein Gegenstand noch gesehen 148
werden soll, so darf der Gesichtswinkel, unter welchem er erscheint, nicht unter einer gewissen Gränze liegen, die sehr von der Erleuchtung und der Farbe des Gegenstandes, der Natur des Hintergrundes und der Individualität der Augen abhängt. Für ein gewöhnliches Auge ist bei mäßiger Beleuchtung ein Gegenstand noch unter einem Sehwinkel von 30 Secunden sichtbar; ein sehr heller Gegenstand, wie ein glänzender Silberdraht, wird aber auf dunklem Grunde noch unter einem Gesichtswinkel von 2 Secunden gesehen. Auch dunkle Körper können auf weißem Grunde sehr deutlich gesehen werden, selbst wenn sie

auch ſehr fein ſind; ein mittelmäßiges Auge kann ein Haupthaar vor dem mäßig hellen Himmel noch in einer Entfernung von 4 bis 6 Fuß deutlich unterſcheiden.

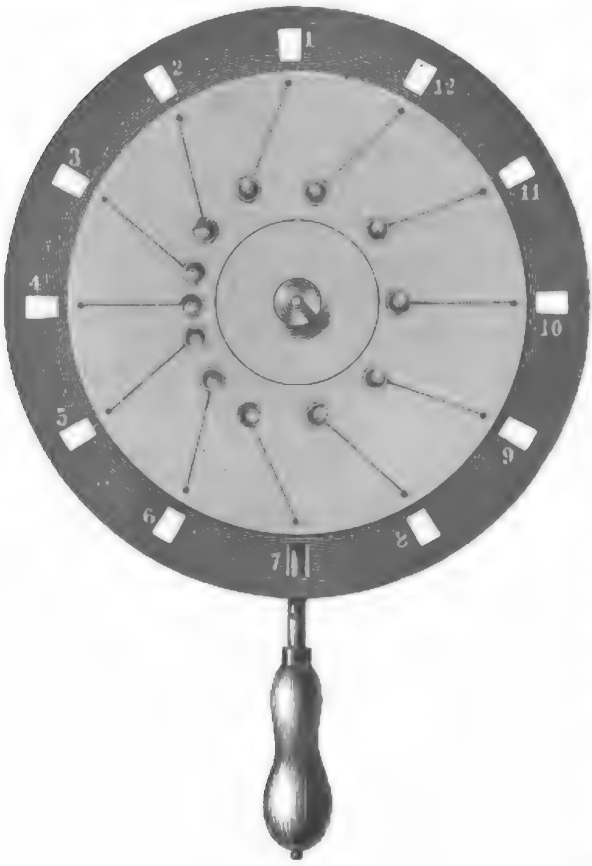
149 **Dauer des Lichteindruckes.** Wenn man mit einer glühenden Kohle raſch einen Kreis beſchreibt, ſo kann man die Kohle ſelbſt nicht unterſcheiden, ſondern man ſieht einen feurigen Kreis. Der Grund dieſer Erſcheinung liegt darin, daß eine durch einen Lichteindruck afficirte Stelle der Retina nicht augenblicklich wieder zur Ruhe kommt, wenn der Lichteindruck ſelbſt aufgehört hat; aus demſelben Grunde kann man auch die Speichen eines ſchnell laufenden Rades nicht unterſcheiden, und die obere Fläche eines Kreiſels, welcher mit abwechſelnd weißen und ſchwarzen Sectoren bemalt iſt, wie Fig. 321, erſcheint bei raſcher Rotation gleichförmig grau. Wenn aber der Kreiſel, im Dunkeln rotirend, momentan erleuchtet wird, etwa durch einen Blitz oder einen elektriſchen Funken, ſo kann man die einzelnen Sectoren deutlich unterſcheiden.

Fig. 321.



Ein recht ſinnreicher Apparat, welcher ſich auf die Dauer des Lichteindruckes gründet, iſt die ſogenannte Wunderſcheibe (Stroboſkopiſche Scheibe, Phenakiſtoſkop). Eine Scheibe von 20 bis 25 Centimeter Durchmeſſer kann um eine horizontale Axe in eine raſche Rotationsbewegung verſetzt werden: am Rande dieſer Scheibe befindet ſich eine Reihe von Oeffnungen, welche in gleichen Abſtänden auf einander folgen; in der Fig. 322 dargeſtellten Wunderſcheibe befinden ſich 12 ſolcher Löcher. Innerhalb des durch die 12 Löcher gebildeten Ringes iſt nun eine kleinere bemalte Scheibe befeſtigt, auf welcher ein und derſelbe Gegenſtand in 12 auf einander folgenden Stellungen abgebildet iſt, ſo daß jedem Loche eine andere Stellung entſpricht. In unſerer Figur iſt ein ganz einfacher Gegenſtand gewählt, nämlich ein Pendel. Unter der mit 1

Fig. 322.



bezeichneten Oeffnung ist das Pendel dargestellt, wie es eben seine äußerste Stellung links erreicht hat; unter der Oeffnung 2 sehen wir das Pendel, wie es sich der Gleichgewichtslage schon wieder genähert hat, bei 4 hat es die Gleichgewichtslage erreicht u. s. w. Dieser Apparat wird nun so vor einen Spiegel gehalten, daß die bemalte Fläche dem Spiegel zugekehrt ist und man durch eine Oeffnung, etwa durch die oberste, das Bild der bemalten Scheibe im Spiegel sieht. Wenn nun die Scheibe rotirt, so geht eine Oeffnung nach der andern vor dem Auge vorüber; während aber die Zwischenräume vor dem Auge hergehen, sieht man nichts. Nehmen wir an, daß in einem bestimmten Momente die Oeffnung 1 vor dem Auge vorübergeht, so erblickt man unter derselben das Bild des Pendels in seiner größten Ausweichung; der in diesem Momente ins Auge gelangende Lichteindruck bleibt nun, bis die zweite Oeffnung vors Auge kommt, und jetzt erscheint das Pendel an derselben Stelle, an welcher man es eben erst in seiner größten Ausweichung gesehen hatte, der Gleichgewichtslage etwas genähert; das Bild dieser zweiten Lage bleibt im Auge, bis die dritte, das Bild der dritten Lage bleibt, bis die vierte Oeffnung vor das Auge gelangt, und nun sieht man das Pendel in seiner Gleichgewichtslage u. s. w.; die auf diese Weise der Reihe nach dem Auge vorgeführten Stellungen des Pendels machen dann täuschend den Eindruck, als ob das Pendel oscillire. Statt des Pendels kann man auch andere Gegenstände wählen, die man der Reihe nach in eben so viel verschiedenen Stellungen dargestellt hat, als Löcher vorhanden sind, so daß jeder Oeffnung eine andere Stellung entspricht. Sehr täuschend lassen sich auf diese Weise Bewegungen von Menschen- und Thiergestalten darstellen, die man in den verschiedenen auf einander folgenden Stellungen aufgezeichnet hat.

Die Nachwirkungen auf der Netzhaut sind um so stärker und dauern um so länger fort, je intensiver und andauernder die primitive Einwirkung war.

Ebenso wie die Gegenstände eine gewisse Größe haben müssen, um durch das Auge wahrnehmbar zu sein, ebenso muß auch der Lichteindruck eine namhafte Zeit andauern, um eine Wirkung auf die Netzhaut hervorzubringen; aus diesem Grunde wird ein sehr schnell sich bewegender Körper, z. B. eine Kanonenkugel, nicht gesehen; das Bild der fliegenden Kugel bewegt sich auf der Netzhaut mit solcher Geschwindigkeit, daß es an keiner Stelle wahrgenommen werden kann.

Farbige Nachbilder. Unser Gesichtsorgan empfindet oft Farben- 150
eindrücke, die nicht unmittelbar durch äußere Objecte hervorgebracht sind, sondern in einem eigenthümlich gereizten Zustande der Netzhaut ihren Grund haben. Man nennt solche Farben subjective oder auch physiologische. Die farbigen Nachbilder sowohl als auch die Farben, welche durch Contraste hervorgebracht werden, gehören hierher.

Die Nachbilder sehr heller Objecte sind immer mehr oder weniger gefärbt, und zwar ist diese Färbung um so entschiedener, je intensiver der primitive Lichteindruck war, welcher die Nachbilder veranlaßte. Man fixire z. B. einige Zeit lang ein Kerzenlicht recht scharf, schließe dann die Augen und wende sie nach einer

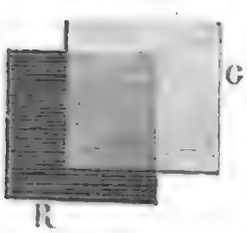
dunklen Stelle des Zimmers, so glaubt man noch immer, die Flamme vor den Augen zu haben, aber sie verändert nach und nach ihre Farbe; sie wird alsbald ganz gelb, geht dann durch Orange in Roth, von Roth durch Violet in grünliches Blau über, welches immer dunkler wird, bis das Nachbild endlich ganz verschwindet.

Wenn man, während noch das farbige Nachbild im geschlossenen Auge ist, das Auge öffnet und auf eine weiße Wand richtet, so erblickt man ein Bild auf dieser Wand, welches demjenigen complementär ist, welches man zu derselben Zeit bei geschlossenem Auge wahrnimmt. Ist das Nachbild im geschlossenen Auge roth geworden, so erblickt man ein grünes Bild, wenn man das Auge öffnet und auf eine weiße Fläche richtet.

Wenn man längere Zeit einen farbigen Fleck auf weißem Grunde scharf fixirt und dann das Auge seitwärts auf die weiße Fläche richtet, so sieht man ein complementär gefärbtes Nachbild; war der Fleck blau, so ist das Nachbild gelb; war er roth, so ist es grün u. s. w. Diese Erscheinung erklärt sich dadurch, daß die Netzhaut für die Farbe des Objectes abgestumpft und also für diejenigen im weißen Lichte enthaltenen Farben empfindlicher wird, die nicht in der Nüance des die Blendung veranlassenden Objectes enthalten sind.

Daß die Retina durch das längere Betrachten eines stark erleuchteten farbigen Gegenstandes allmälig gegen diese Farbe abgestumpft wird, geht auch daraus hervor, daß sie nach und nach immer matter und unscheinbarer wird. Man kann sich davon am leichtesten auf folgende Weise überzeugen. Man fixire längere Zeit ein farbiges, etwa ein rothes Quadrat, welches sich auf einem weißen Grunde befindet, und wende dann das Auge nur etwas seitwärts, so daß das complementäre Nachbild zum Theil noch auf das farbige Quadrat fällt, wie dies in Fig. 323 angedeutet ist. Der freie Theil des Nachbildes erscheint jetzt grün, der frei gewordene Theil des Objectes, d. h. derjenige Theil, welcher seine Strahlen jetzt auf Stellen der Netzhaut sendet, die vorher noch nicht von dem rothen Lichte getroffen waren, erscheint lebhaft roth; da aber, wo beide Quadrate über einander fallen, sieht man ein weit matteres Roth, denn die von diesem Theile des objectiven rothen Quadrates ausgehenden Strahlen treffen noch immer solche Stellen der Netzhaut, welche gegen den Eindruck des rothen Lichtes schon mehr abgestumpft sind.

Fig. 323.



151 **Contrastfarben.** Ein grauer Fleck erscheint auf einer weißen Fläche dunkler, auf einer schwarzen heller, als wenn die ganze Fläche mit demselben grauen Tone überzogen wäre. Ein Versuch, welcher dies recht deutlich zeigt, ist folgender: Man bringe einen schmalen undurchsichtigen Körper, etwa einen Bleistift, zwischen eine Kerzenflamme und eine weiße Fläche, so wird man einen dunklen Schatten auf hellem Grunde sehen; bringt man nun eine zweite Kerzenflamme neben die erstere, so sieht man zwei dunkle Schatten auf dem hellen Grunde; jeder dieser Schatten ist aber jetzt durch eine Kerze eben so stark er-

leuchtet, als vorher die ganze Fläche war, und doch hielt man vorher die Fläche für hell und jetzt den Schatten für dunkel; dieser Versuch beweist den bedeutenden Einfluß des Contrastes.

Noch auffallender sind die Contrasterscheinungen bei Betrachtungen farbiger Gegenstände, wobei man oft complementäre Farben (Ergänzungsfarben) sieht, welche objectiv gar nicht vorhanden sind.

Legt man einen schmalen grauen Papierschnitzel auf ein lichtgrünes Papier, so erscheint der Streifen röthlich; legt man ihn auf ein blaues Papier, so erscheint er gelb; kurz, er erscheint immer complementär zur Farbe des Grundes. Sehr deutlich nimmt man die Erscheinung wahr, wenn man einen ungefähr 1^{mm} breiten Streifen von weißem Papier auf eine Tafel von farbigem Glase klebt und dann durch dasselbe nach einer weißen Fläche, etwa nach einem Blatte weißen Papieres, sieht; der Streifen erscheint dann complementär zur Farbe des Glases, also roth auf einem grünen Glase, blau auf einem gelben u. s. w.

Was die Erklärung der farbigen Nebenbilder betrifft, so ist sie wohl darin zu suchen, daß, wenn irgend ein Theil der Netzhaut durch farbiges Licht afficirt wird, diese directe Wirkung auch auf die benachbarten Stellen der Netzhaut in der Weise reagirt, daß sie in einen dem primitiven Eindrucke complementären Zustand versetzt werden.

Jede Zusammenstellung von Farben, welche complementär zu einander sind, macht einen angenehmen Eindruck auf das Auge, jede derselben erscheint durch die andere gehoben und brillanter als für sich allein. Es ist dies leicht begreiflich, wenn man bedenkt, daß, wenn irgend ein Theil der Netzhaut direct durch irgend eine Farbe afficirt wird, sie ja selbst ein Bestreben zeigt, auf den benachbarten Stellen diesen Gegensatz hervorzurufen. Dagegen kann die schönste Farbe durch unpassende Zusammenstellung unscheinbar gemacht werden.

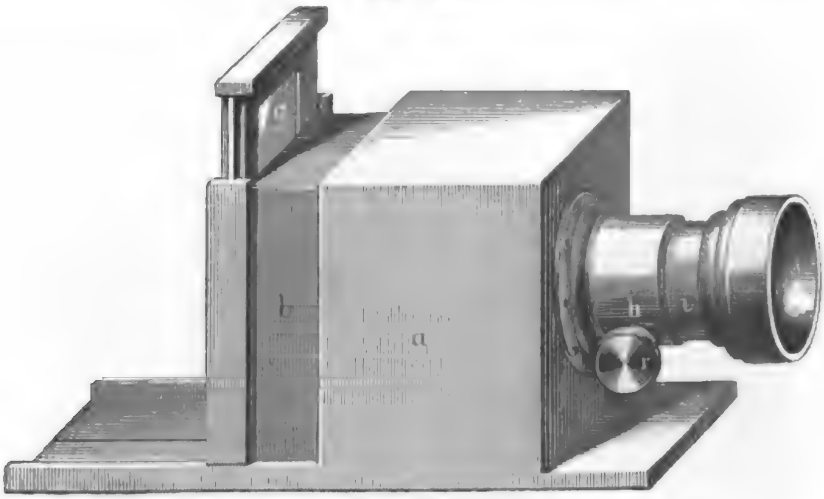
Die camera obscura. Die von dem Neapolitaner Porta um die 152
Mitte des siebzehnten Jahrhunderts erfundene camera obscura besteht im Wesentlichen aus einer Sammellinse von etwas großer Brennweite, durch welche ein Bild entfernter Gegenstände, etwa einer Landschaft, entworfen wird; um den Effect dieses Bildes möglichst zu heben, muß von der Fläche, auf welcher es aufgefangen wird, alles seitliche, nicht hierher gehörige Licht sorgfältig ausgeschlossen werden, d. h. es muß in einer dunklen Kammer aufgefangen werden.

Setzt man die Linse in den Laden eines dunklen Zimmers, so wird man auf einem in gehöriger Entfernung der Linse gegenüberstehenden Schirme das Bild der außerhalb befindlichen Gegenstände erhalten. Dies ist die ursprüngliche Form der camera obscura.

Später wurde das Zimmer durch einen transportablen, innen geschwärzten Kasten ersetzt. Fig. 324 (a. f. S.) zeigt den Apparat in der Form, wie er zum Photographiren angewandt wird. Auf der Vorderseite des Kastens *a* ist eine messingene Hülse *h* befestigt, in welcher sich eine zweite *i* mittelst eines Triebes, der durch den Kopf *r* bewegt wird, aus- und einschieben läßt. Diese

Hülſe *i* enthält die achromatiſche Linſe, welche ihre Bilder auf einer ihr gegenüberſtehenden mattgeſchliffenen Glastafel entwirft. Dieſe Glastafel *g* iſt in

Fig. 324.



einem Schieber befeſtigt, welcher die Rückwand des in den Kaſten *a* hineinpaſſenden, nach vorn hin offenen Kaſtens *b* bildet. Unſere Figur zeigt den Schieber mit der Glastafel etwas in die Höhe gezogen. Je näher der Gegenſtand rückt, deſſen Bild man erhalten will, deſto weiter muß man den Kaſten *b* aus *a* herausziehen. Die feinere Einſtellung geſchieht durch Verſchiebung der Linſe mittelſt des ſchon erwähnten Triebes *r*.

Fig. 325.

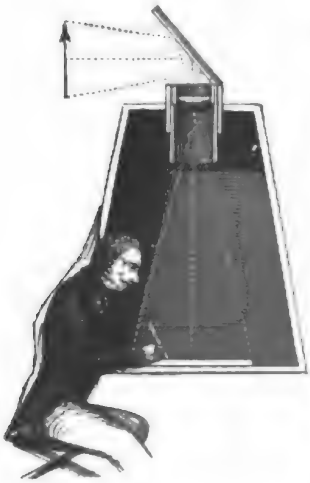


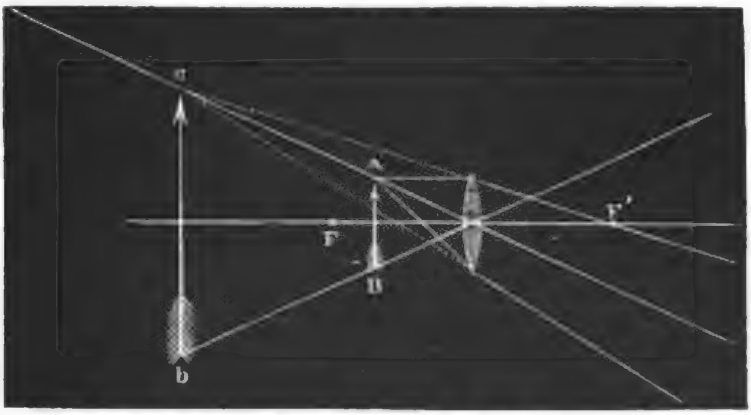
Fig. 325 ſtellt eine ältere Form der camera obscura dar; ſie beſteht aus einem ziemlich hohen Kaſten, auf deſſen Boden ein Blatt weißes Papier gelegt wird; durch die obere Fläche des Kaſtens geht eine Röhre, welche die Sammellinſe enthält, über welcher ſich dann ein in einem Winkel von 45° gegen die Verticale geneigter ebener Spiegel befindet. Die von dem Gegenſtande kommenden Strahlen werden durch den Spiegel nach unten reflectirt, ſo daß das Bild auf der Fläche des Papiers entſteht; man kann alſo die Contouren dieſes Bildes leicht mit Bleiſtift nachfahren.

153 **Die Loupe oder das einfache Mikroskop.** Wir haben oben geſehen, daß die ſcheinbare Größe eines Gegenſtandes von der Größe des Sehwinkels abhängt, unter welchem er erſcheint; der Sehwinkel wird aber um ſo größer, je mehr der Gegenſtand dem Auge genähert wird; nun aber können wir ihn nur bis zu einer gewiſſen Gränze, der Weite des deutlichen Sehens, dem unbewaffneten Auge nähern, wenn noch eine ſcharfe Unterſcheidung der Gränzen und der einzelnen Theile möglich ſein ſoll, und dadurch iſt auch einer weitern

Vergrößerung des Sehwinkels eine Gränze geſetzt. Ein jedes Inſtrument, welches eine weitere Vergrößerung für den Sehwinkel kleiner naher Gegenſtände möglich macht, als es bei unbewaffnetem Auge der Fall iſt, wird ein **Mikroſkop** genannt. Nach dieſer Erklärung iſt auch die kleine Oeffnung im Kartenblatte, welche in §. 145 beſprochen wurde, ein Mikroſkop, und zwar ein einfaches; doch bezeichnet man mit dem Namen des **einfachen Mikroſkopes** in der Regel nur Collectivlinſen von geringer Brennweite.

Um zu begreifen, wie eine einfache Sammellinſe als Mikroſkop dienen kann, braucht man nur einen Blick auf Fig. 326 zu werfen. Es ſei AB ein

Fig. 326.



Gegenſtand, der ſich innerhalb der Brennweite der Linſe befindet, ſo **divergiren** alle von einem Punkte des Gegenſtandes AB ausgehenden Strahlen nach ihrem Durchgange durch die Linſe gerade ſo, als ob ſie von dem entſprechenden Punkte des Bildes ab herkämen, wie dies ſchon oben gezeigt wurde; ein hinter der Linſe befindliches Auge wird aber den Gegenſtand durch die Linſe deutlich ſehen können, wenn ſich das Bild ab in der Weite des deutlichen Sehens befindet; in dieſem Falle aber liegt der Gegenſtand ſelbſt dem Auge weit näher; ohne die Linſe würde man ihn alſo nicht mehr deutlich ſehen können. Die vergrößernde Kraft der Linſe iſt alſo im Weſentlichen darin zu ſuchen, daß ſie es möglich macht, den Gegenſtand dem Auge ſehr nahe zu bringen, wodurch denn natürlich auch der Sehwinkel vergrößert wird.

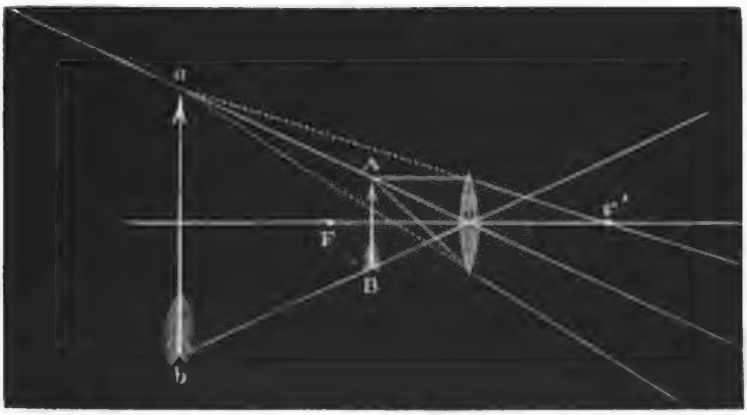
Um die durch die Loupe hervorgebrachte Vergrößerung zu beſtimmen, müſſen wir die Größe des Sehwinkels, unter welchem das Bild ab dem Auge erſcheint, wenn es ſich in der Entfernung des deutlichen Sehens befindet, mit der Größe des Sehwinkels vergleichen, unter welchem der Gegenſtand ſelbſt erſcheinen würde, wenn er eben ſo weit vom Auge entfernt wäre.

Genau läßt ſich der Winkel, unter welchem das Bild ab erſcheint, nur dann ermitteln, wenn die Entfernung des Glaſes vom Kreuzungspunkte im Auge bekannt iſt; da man aber das Auge dicht hinter das Glas hält und die Dicke der Linſe ſelbſt unbedeutend iſt, ſo kann man ohne großen Fehler den Kreuzungspunkt als mit dem Mittelpunkte o der Linſe zuſammenfallend annehmen; unter dieſer Vorausſetzung iſt nun die Vergrößerung leicht zu berechnen.

Von o aus geſehen, erſcheint der Gegenſtand AB und das Bild ab unter

gleichem Geſichtswinkel; wir finden alſo die Vergrößerung, wenn wir den Geſichtswinkel, unter welchem AB erſcheint, mit demjenigen vergleichen, unter welchem derſelbe Gegenſtand erſcheinen würde, wenn er bis in die Weite des deutlichen Sehens von o entfernt, wenn er alſo an die Stelle des Bildes ab geſetzt wäre. Da die ſcheinbare Größe eines Gegenſtandes ſeiner Entfernung vom Auge umgekehrt proportional iſt, ſo verhalten ſich der Geſichtswinkel AoB und der Winkel, unter welchem AB von o aus betrachtet erſcheinen würde, wenn dieſer Gegenſtand bis ab fortgerückt wäre, umgekehrt wie die Entfernungen des Gegenſtandes AB und des Bildes ab von o. Bezeichnen wir die Entfernung des Bildes von o mit d, die Entfernung des Gegenſtandes AB von o mit x, ſo iſt die Vergrößerung $\frac{d}{x}$, wo für d die Weite des deutlichen Sehens zu ſetzen iſt.

Fig. 327.



Nehmen wir an, das Bild befände ſich in der Weite des deutlichen Sehens, der Gegenſtand aber im Brennpunkte der Linſe, ſo wäre die Vergrößerung $\frac{d}{f}$, wenn f die Brennweite des Glaſes darſtellt. Dieſer Ausdruck $\frac{d}{f}$ giebt uns nun freilich nicht den genauen Werth der Vergrößerung an, er macht aber ein annähernd richtiges Urtheil über die Vergrößerung der Loupe möglich.

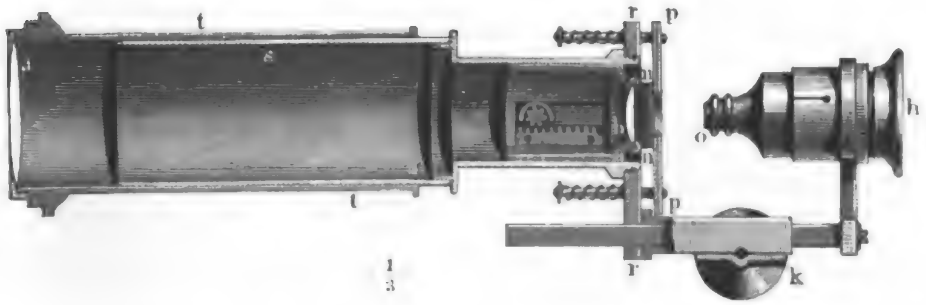
Wenn das Bild ab in der Entfernung d entſtehen ſoll, ſo muß ſich der Gegenſtand innerhalb der Brennweite befinden, x iſt alſo jedenfalls kleiner als f, der wahre Werth der Vergrößerung iſt alſo jedenfalls noch etwas größer als $\frac{d}{f}$.

Wenn z. B. die Weite des deutlichen Sehens 10 Zoll, die Brennweite der Linſe 2 Zoll iſt, ſo wird die Vergrößerung noch etwas mehr als $\frac{10}{2}$, d. h. noch etwas mehr als 5 betragen.

Je kleiner der Werth von f wird, d. h. je geringer die Brennweite der Linſe iſt, deſto kleiner wird auch der Werth von x, deſto größer der Werth von $\frac{d}{x}$, deſto ſtärker iſt alſo die Vergrößerung. Eine Loupe von kurzer Brennweite vergrößert alſo ſtärker als eine ſolche von größerer Brennweite.

Das Sonnenmikroskop ist in Fig. 328 zum Theil im Durchschnitt 154
dargestellt. Die Messingröhre *t* wird in die entsprechende Oeffnung eines Ladens eingeschraubt, durch dessen Schließung das Experimentirzimmer vollständig

Fig. 328.

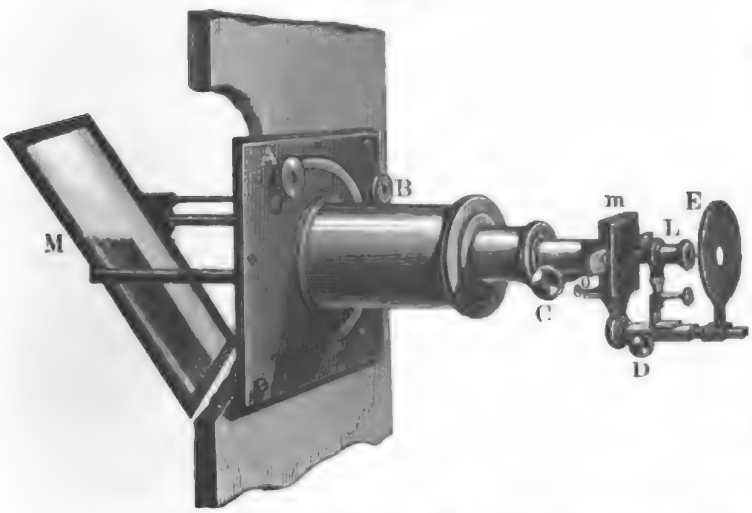


verfinstert worden ist. Vor der fraglichen Oeffnung befindet sich ein Spiegel, welcher stets so gerichtet werden muß, daß er die Sonnenstrahlen in der Richtung der Axe des Rohres *t* auf die Linse *a* wirkt. Die durch die Linse *a* bereits convergent gemachten Strahlen fallen auf eine zweite Linse *b*, durch welche sie auf den kleinen, gewöhnlich zwischen zwei Glasplatten bei *n* gefaßten Gegenstand concentrirt werden. Von diesem stark erleuchteten Gegenstande wird nun durch eine kleine Linse *o*, welche an der bei *h* offenen Messinghülse angeschraubt ist, auf einem im dunklen Zimmer aufgestellten Schirme ein verkehrtes vergrößertes Bild entworfen.

Mit Hülfe des Triebes *k* kann man den Abstand der Linse *o* von dem Objecte *n* so reguliren, daß auf dem 10 bis 15 Fuß entfernten Schirm ein scharfes Bild entsteht.

Fig. 329 stellt die Totalansicht eines Sonnenmikroskops dar. Die Neigung des Spiegels *M* (welcher die Sonnenstrahlen reflectirt), gegen die Axe des Rohres, kann durch Drehung des Knopfes *B* mittelst einer Schraube ohne Ende regulirt werden, während die Drehung des Spiegels um die Axe des Rohres durch die Drehung des Knopfes *A* bewerkstelligt wird.

Fig. 329.



Nehmen wir an, die Linse *o*, Fig. 328, sei gerade 1 Centimeter weit vom Objecte entfernt, wenn auf dem 2 Meter entfernten Schirme ein scharfes Bild entsteht,

ſo ſind die linearen Dimenſionen des Bildes 200mal ſo groß als die des Gegenſtandes, und wenn der Gegenſtand eine Fläche von 1 Quadratlinie bedeckt, ſo wird alſo ſein Bild auf einen Flächenraum von 40000 Quadratlinien ausgebreitet ſein. Man begreift demnach leicht, daß der Gegenſtand ſehr hell erleuchtet ſein muß, wenn das ſtark vergrößerte Bild nicht zu lichtſchwach ſein ſoll.

Mit derſelben Linſe bei *o* kann man verſchiedene Vergrößerungen erhalten, je nachdem man den Abſtand des Schirmes verändert.

Je weiter der Schirm entfernt wird, deſto näher muß man die Linſe *o* dem Objecte bringen, und deſto ſtärker wird die Vergrößerung.

Um bei gleichem Abſtande des Schirmes ſtärkere Vergrößerungen zu erhalten, wird eine Combination von zwei oder von drei Linſen bei *o* angeſchraubt.

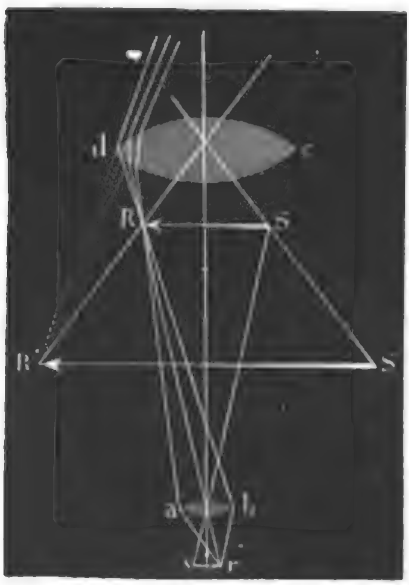
Man hat auch ähnliche Mikroſkope conſtruirt, in denen das Licht der Sonne durch künſtliches Licht, etwa durch das Licht eines im Knallgasgebläſe glühend gemachten Kalkſtückchens (Drummond'ſches Kalklicht) oder durch elektriſches Licht, oder endlich auch nur durch eine intenſiv leuchtende Lampe erſetzt ſind. Je ſchwächer die Lichtquelle iſt, deſto geringere Vergrößerung kann man anwenden.

Die Zauberlaterne (laterna magica) beruht auf denſelben Principien, nur ſind die Gegenſtände in größeren Dimenſionen auf Glas gemalt und werden durch das Licht einer Lampe erleuchtet, die höchſtens eine 15- bis 20fache Vergrößerung erlaubt.

155 Das zuſammengeſetzte Mikroſkop. Die Principien, auf welchen die Conſtruction aller, wenn auch in ihrer ſonſtigen Einrichtung noch ſo ſehr von einander abweichenden Mikroſkope beruht, ſind folgende:

1. Die Gegenſtände, welche man dem Verſuche unterwerfen will, befinden ſich nahe bei einer Sammellinſe *a b* von kurzer Brennweite (Fig. 330), und zwar etwas jenſeits des Brennpunktes. Dieſe Linſe, ſie mag nun einfach oder zuſammengeſetzt ſein, wird die Objectivlinſe oder das Objectiv des Mikroſkopes genannt.

Fig. 330.



2. Durch das Objectiv *a b* wird nun von dem kleinen Gegenſtande *r s* ein verkehrtes vergrößertes Bild *R S* entworfen und dieſes Bild gleichſam durch eine zweite Linſe *d c*, das Augenglas oder das Ocular, betrachtet, welches hier als Loupe dient, ſo daß der Beobachter ſtatt des erſten Bildes *R S* das Bild *R' S'* ſieht.

Die von *r* ausgehenden Strahlen divergiren alſo nach ihrem Durchgange durch das Inſtrument ſo, als ob ſie von *R'*, die von *s* ausgehenden ſo, als ob ſie von *S'* herkämen.

So ist denn jedes dioptrische Mikroskop im Wesentlichen aus einem Objective und einem Oculare zusammengesetzt, und die Vergrößerung des Mikroskopes ist das Product der Vergrößerungen, welche jedes dieser Gläser hervorbringt. Wenn z. B. das Objectiv im Durchmesser 5mal, das Ocular aber 10mal vergrößerte, so würde ein solches Mikroskop den Durchmesser der Gegenstände 50mal, die Oberfläche also 2500mal vergrößern.

Fig. 331 erläutert die äußere Einrichtung des Mikroskopes; das Objectiv *o* ist an das untere Ende einer Messingröhre angeschraubt, in welche oben bei *n* ein kurzes Rohr eingehoben wird, welches das Ocular enthält. Das Object wird auf den Tisch *p* gelegt und durch den Spiegel *s* von unten erleuchtet.

Fig. 331.

Dioptrische Fernröhre. 156 Auch die Fernröhre, deren Zweck es ist, entfernte Gegenstände vergrößert zu zeigen, bestehen aus einem dem Gegenstande zugekehrten Objectiv, d. h. einer Linse von größerem Durchmesser und größerer Brennweite, welche wo möglich achromatisch sein soll, und einem Ocular, durch welches der Beobachter hindurchschaut. Die verschiedenen Arten der dioptrischen Fernröhre unterscheiden sich nur durch die verschiedene Einrichtung des Oculars. Bei dem Galiläi'schen Fernrohre besteht das Ocular aus einer einfachen Zerstreuungslinse; das Ocular des astronomischen Fernrohres hat eine oder zwei Sammellinsen, das Ocular des Erdfernrohres endlich hat deren vier.

Die Einrichtung des holländischen oder Galiläi'schen Fernrohres ist Fig. 332 (a. f. S.) dargestellt. *oo* ist das Objectiv, welches in *ab* ein verkehrtes Bild des Gegenstandes *AB* entwerfen würde, wenn die Strahlen nicht

ſchon vorher durch die als Ocular dienende Zerſtreuungslinſe $v\,v$ aufgefangen würden. Nun aber wird dies Ocular ſo geſtellt, daß die Entfernung des Bildes $a\,b$ von demſelben etwas größer iſt als ſeine Zerſtreuungsweite, folglich werden alle nach einem Punkte des Bildes $a\,b$ convergirenden Strahlen ſo gebrochen, daß ſie nach ihrem Durchgange durch die Zerſtreuungslinſe ſo divergiren, als ob ſie von einem Punkte vor derſelben herkämen. (Vergleiche den Schluß des §. 131.)

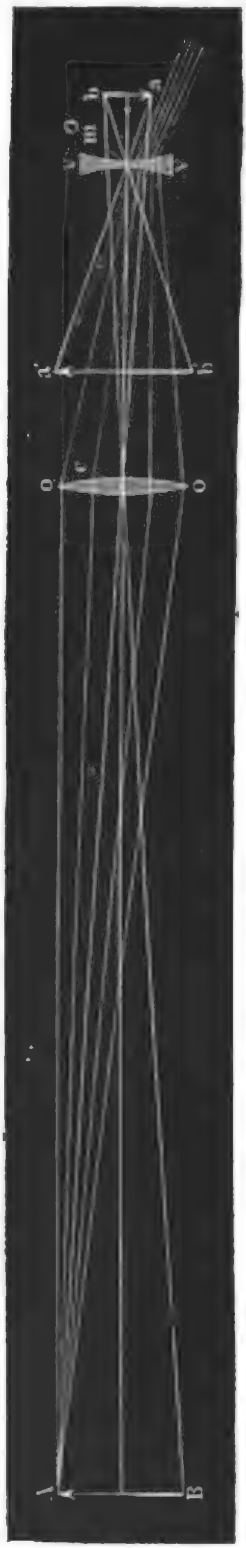


Fig. 332.

In unſerer Figur kann man den Lauf des Strahlenbündels verfolgen, welches, von dem oberſten Punkte A des entfernten Gegenſtandes ausgehend, durch das Objectiv $o\,o$ nach a hin convergirend gemacht wird, und deſſen Strahlen endlich, aus dem Ocular austretend, ſich in einer Richtung fortpflanzen, als ob ſie von a' ausgegangen wären.

Die durch dies Fernrohr hervorgebrachte Vergrößerung iſt leicht zu berechnen, wenn man die Brennweite des Objectivs und die Zerſtreuungsweite des Oculars kennt. Der Winkel $A\,c\,B$, unter welchem der Gegenſtand ohne Fernrohr erſcheinen würde, iſt gleich dem Winkel $b\,c\,a$; denken wir uns nun das Auge in den Mittelpunkt m des Oculars verſetzt, ſo erſcheint, durch das Fernrohr geſehen, der Gegenſtand unter dem Winkel $a'\,m\,b'$, welcher dem Winkel $b\,m\,a$ gleich iſt; um zu beſtimmen, wie vielmal das Fernrohr vergrößert, haben wir alſo nur zu ermitteln, wie vielmal der Winkel $b\,m\,a$ größer iſt als der Winkel $b\,c\,a$.

Die Entfernung des Bildes ab vom Objectiv iſt gleich der Brennweite f deſſelben, wenn der Gegenſtand ſehr weit entfernt iſt; die Entfernung des Bildes $a\,b$ vom Ocular iſt aber nur unmerklich größer als die Zerſtreuungsweite f' dieſes Glaſes, und wir können ſie ohne merklichen Fehler gleich f' ſetzen. Nun aber verhalten ſich die Winkel $b\,c\,a$ und $b\,m\,a$ ſehr nahe umgekehrt wie dieſe Entfernungen, alſo:

$$b\,c\,a : b\,m\,a = f' : f,$$

oder:

$$\frac{b\,m\,a}{b\,c\,a} = \frac{f}{f'}.$$

Setzen wir den Winkel $b\,c\,a$, unter welchem der

Gegenſtand ohne Fernrohr erſcheint, $= 1$, ſo iſt der Winkel, unter welchem er durch das Fernrohr geſehen wird,

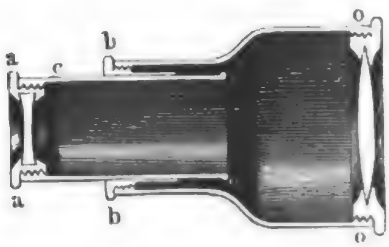
$$bma = \frac{f}{f'},$$

d. h. man findet die Vergrößerung, wenn man die Brennweite des Objectivs durch die Zerſtreuungsweite des Oculars dividirt; die Vergrößerung iſt alſo um ſo größer, je größer die Brennweite des Objectivs und je kleiner die Zerſtreuungsweite des Oculars iſt.

Die Entfernung der beiden Gläſer iſt offenbar ſehr nahe gleich $f - f'$; wenn man alſo verſchiedene Oculare mit demſelben Objectiv verbindet, ſo wird die Entfernung der beiden Gläſer um ſo größer ſein müſſen, je kürzer die Zerſtreuungsweite des Oculars, je ſtärker alſo die Vergrößerung iſt.

Fig. 333 erläutert die gewöhnlichſte Form der holländiſchen Fernröhre, nämlich das Theaterperſpectiv. An einer vorn weiten, hinten engern Röhre iſt bei oo die Objectivlinſe eingeſchraubt. Bei bb iſt eine Hülſe eingeſchraubt, in welcher das Rohr cc ſteckt, und in dieſes Rohr iſt endlich bei aa die Ocularlinſe eingeſchraubt. Die Röhre c kann ſammt dem Oculare nach Belieben aus- und eingeſchoben werden, bis man ein ſcharfes Bild der zu betrachtenden Gegenſtände ſieht. Je mehr man ſich dem Gegenſtande nähert, deſto mehr muß die Ocularröhre ausgezogen werden.

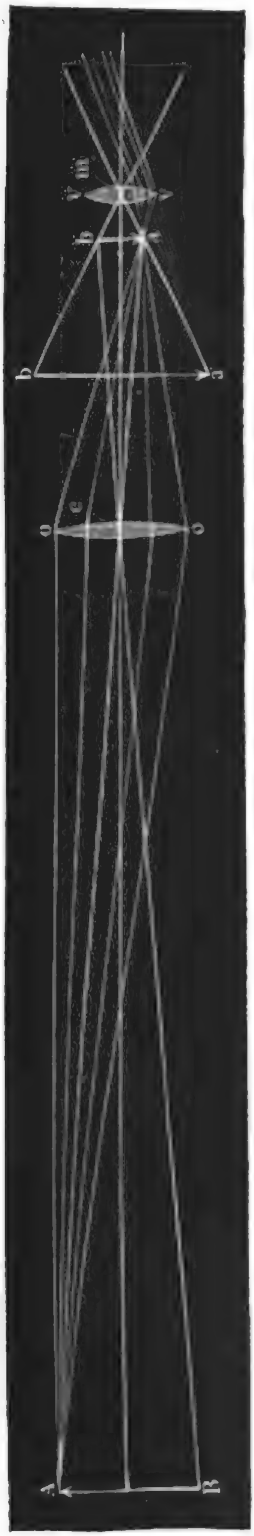
Fig. 333.



Die Conſtruction der holländiſchen Fernröhre wird nur zu ſchwachen Vergrößerungen angewendet, weil ſie bei etwas ſtarker Vergrößerung ſchon ein ſehr kleines Geſichtsfeld giebt.

Bei dem aſtronomiſchen Fernrohre kommt das Bild des Oculars wirklich zu Stande, und es wird durch eine einfache oder zuſammengeſetzte Loupe betrachtet, wie man es in Fig. 334 ſieht; ab iſt das

Fig. 334.



durch das Objectiv oo entworfene verkehrte Bild des Gegenstandes AB, welches, durch die Loupe vv betrachtet, in $a'b'$ vergrößert erscheint. Unsere Figur zeigt den Lauf des von der Spitze des Gegenstandes ausgehenden Strahlenbündels, welches durch das Instrument hindurchgeht.

Die Vergrößerung eines solchen Fernrohres ist leicht zu berechnen, wenn man die Brennweite des Objectivs und die des Oculars kennt; denn der Sehwinkel, unter welchem der Gegenstand dem bloßen Auge erscheint, ist gleich dem Winkel AcB, also auch gleich acb; durch das Fernrohr erscheint er aber unter dem Winkel $a'mb'$, welcher gleich amb ist; der eine dieser Winkel verhält sich aber zum andern umgekehrt wie die Entfernung des Bildes ab vom Objectiv zu der Entfernung desselben vom Ocular; nun aber steht das Bild vom Objectiv nahe um die Brennweite f desselben, vom Ocular aber um die Entfernung f' ab, wenn wir mit f' die Brennweite des Oculars bezeichnen; die durch das Fernrohr hervorgebrachte Vergrößerung ist also $\frac{f}{f'}$.

Die Länge des Fernrohres ist $f + f'$, d. h. sie ist gleich der Summe der Brennweiten der beiden Gläser.

In der Regel wendet man keine einfache Linse als Ocular an, wie wir dies bis jetzt angenommen haben, sondern eine Combination von zwei Linsen.

Daß man durch ein astronomisches Fernrohr die Gegenstände verkehrt sieht, ist klar; denn durch ein Objectiv wird ein verkehrtes Bild des entfernten Gegenstandes entworfen, und dieses Bild wird dadurch, daß man es durch eine Loupe betrachtet, nicht umgekehrt.

Die Helligkeit des Bildes hängt von der Größe des Objectivs, die Größe des Gesichtsfeldes von dem Ocular ab.

Wenn das astronomische Fernrohr zu Messungen dienen soll, so wird es mit einem Fadenkreuze versehen; es befindet sich dasselbe genau an der Stelle, an welcher durch das Objectiv das Bild des zu betrachtenden Gegenstandes entsteht.

Fig. 335 erläutert die äußere Einrichtung des astronomischen Fernrohres. An dem vorderen Ende k eines Rohres von entsprechender Länge ist das Objectiv eingeschraubt. Hinten ist dieses Rohr mit einem engeren Ansatze versehen, in welchem die das Ocular o tragende Röhre t aus- und eingeschoben werden kann, was in der Regel mittelst eines Triebes r geschieht. Solche Fernröhre sind, wenn sie nicht an Meßinstrumenten angebracht werden, meist von etwas größeren Dimensionen und auf besonderen Stativen aufgestellt (Standfernröhre). wie Fig. 335 a erläutert.

Beim Betrachten irdischer Gegenstände ist es unangenehm, Alles verkehrt zu sehen, was bei astronomischen Beobachtungen, sowie auch bei Vermessungen gleichgültig ist. Um nun bei starker Vergrößerung die Gegenstände doch noch aufrecht sehen zu können, hat man das Ocular des astronomischen Fernrohres durch eine Röhre ersetzt, welche in der Regel vier Convexlinsen enthält, und so erhält man das Erdfernrohr. Die vier Linsen in der Ocularröhre bilden gewissermaßen ein nicht gar stark vergrößerndes zusammengesetztes Mikroskop, durch

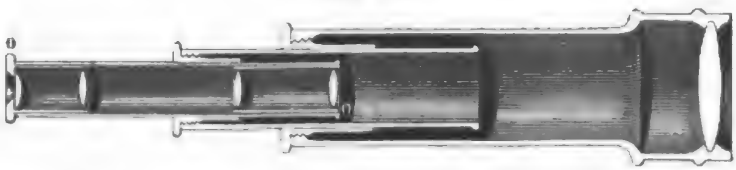
welches man das verkehrte Bild wieder umgekehrt, alſo in aufrechter Stellung ſieht.

Fig. 335.

Fig. 335 a.

Fig. 336 erläutert die gewöhnliche Einrichtung des terreſtriſchen Fernrohres. *oo* iſt die mit vier Linſen verſehene Ocularröhre. Da die terreſtriſchen Fernröhre häufiger von einem Orte zum andern getragen und auf Reiſen mitgenommen werden, ſo werden ſie in der Regel aus mehreren in einander ſchiebbaren Röhren zuſammengeſetzt, die man, um das Inſtrument kurz zu machen, zuſammenſchiebt, wenn man es nicht gebraucht, die man aber bis zur gehörigen Länge auszieht, wenn man durch das Fernrohr beobachten will.

Fig. 336.



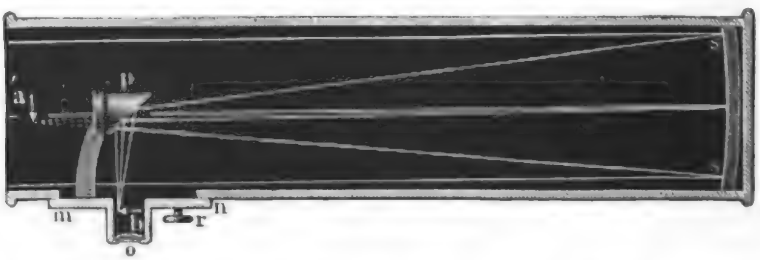
Die Vergrößerung des Galiläi'ſchen und des aſtronomiſchen Fernrohres läßt ſich, wie wir geſehen haben, aus der Brennweite der Gläſer leicht berechnen; da aber dieſe Brennweiten ſelbſt erſt durch einen Verſuch ermittelt werden müſſen, ſo iſt es vorzuziehen, die Vergrößerung der Fernröhre unmittelbar durch den Verſuch zu beſtimmen. Ganz einfach geſchieht dies bei nicht zu ſtarker Vergrößerung auf folgende Weiſe: Man ſtelle in einiger Entfernung vom Fernrohre einen getheilten Stab, etwa eine Latte, wie man ſie zum Feldmeſſen

braucht, auf und betrachte denſelben gleichzeitig mit dem einen Auge direct, mit dem andern durch das Fernrohr; man ſieht auf dieſe Weiſe, wie viel Abtheilungen des mit bloßem Auge geſehenen Maßſtabes auf eine durch das Fernrohr vergrößerte Abtheilung fallen, und erhält ſo unmittelbar den Werth der Vergrößerung. Man kann zu dem eben angegebenen Verfahren auch die Ziegelreihen eines Daches anwenden.

157 **Spiegelteleskope.** Bevor man achromatiſche Objectivlinſen machen konnte, war der Umſtand, daß der Brennpunkt einer einfachen Linſe nicht für alle farbigen Strahlen derſelbe iſt, für die Reinheit und Schärfe der Bilder ſehr nachtheilig. Man ſuchte dies dadurch zu vermeiden, daß man das erſte Bild der entfernten Gegenſtände nicht durch Linſen, ſondern durch metallene Hohlſpiegel erzeugte, und ſo entſtanden die Spiegelteleſkope.

Fig. 337 ſtellt ein Newton'ſches Spiegelteleſkop dar. Der Hohlſpiegel $s\,s$ würde von dem entfernten Gegenſtande ein Bild in a entwerfen; ehe

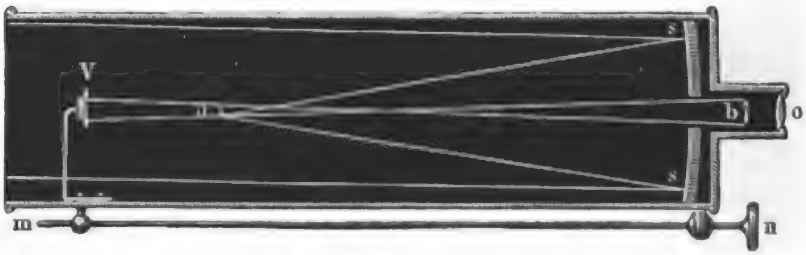
Fig. 337.



jedoch die Strahlen hierher gelangen, werden ſie von einem Planſpiegel p, der 45^0 gegen die Axe des Rohres geneigt iſt, ſeitwärts reflectirt, ſo daß das Bild wirklich in b entſteht. Dieſes Bild wird nun durch das Ocular o betrachtet.

Beim Gregory'ſchen Teleſkope, Fig. 338, iſt der Objectivſpiegel in der

Fig. 338.



Mitte durchbohrt und hinter dieſer Oeffnung das Ocular angebracht. Die einfallenden Strahlen werden ſo reflectirt, daß in a ein verkehrtes Sammelbild des fernen Gegenſtandes entſteht; dieſes Bild nun befindet ſich nahe dem Brennpunkte des kleinen Hohlſpiegels V, durch welchen vor dem Ocular ein aufrechtes Bild b des verkehrten Bildes a entworfen wird. Dieſes Bild b wird nun endlich durch die Ocularlinſe o betrachtet.

In Folge der Erfindung achromatiſcher Objective ſind die Spiegelteleſkope

ſehr außer Gebrauch gekommen. Nur bei der Conſtruction ganz großer Inſtrumente bieten die Hohlſpiegel einen Vortheil vor den achromatiſchen Objectiven, weil bei letzteren die Vergrößerung des Durchmeſſers über gewiſſe Gränzen unüberwindliche Schwierigkeiten bietet. Die größten achromatiſchen Objective, welche man bis jetzt zu Stande brachte, haben 14 Zoll Durchmeſſer, während der Spiegel des großen 40füßigen Teleſkops von Herſchel, deſſen Leiſtungen noch nicht durch dioptriſche Fernrohre übertroffen worden ſind, 4 Fuß im Durchmeſſer hat. Roſſe conſtruirte in neuerer Zeit ein 53füßiges Spiegelteleſkop, deſſen Spiegel über 6 Fuß im Durchmeſſer hat.

Bei dieſen großen Spiegelteleſkopen, deren Einrichtung durch Fig. 339 erläutert wird, iſt kein zweiter Spiegel angebracht. Das durch den Objectiv-

Fig. 339.

ſpiegel $S\,S$, welcher etwas ſchräg gegen die Axe des Inſtrumentes ſteht, erzeugte Bild a wird unmittelbar durch das am Eingange des Rohres angebrachte Ocular o betrachtet. Bei dieſer Beobachtungsweiſe kommt freilich der Kopf des Beobachters zwiſchen das Object und den Spiegel, was aber bei dem großen Durchmeſſer des letzteren nicht ſchadet.

Herſchel nennt dieſe Inſtrumente Front view telescops, was man etwa durch Vornſchau-Teleſkope überſetzen könnte.

Es verſteht ſich von ſelbſt, daß bei den Spiegelteleſkopen eben ſo wie bei dioptriſchen Fernrohren ſtatt der einfachen Ocularlinſen, wie ſie die Figuren 337, 338 und 339 zeigen, zuſammengeſetzte Oculare in Anwendung kommen.

Digitized by Google

Sechstes Capitel.

Interferenzerscheinungen.

158 **Hypothesen über das Wesen des Lichtes.** Um die Lichterscheinungen zu erklären, sind zwei verschiedene Hypothesen aufgestellt worden, die Emissions- oder Emanationstheorie und die Vibrations- oder Undulationstheorie.

Die Emissionstheorie nimmt an, daß es eine eigenthümliche Lichtmaterie gebe, und daß ein leuchtender Körper nach allen Seiten hin Theilchen dieser feinen Materie mit so ungeheurer Geschwindigkeit aussende, daß ein solches Lichttheilchen in 8 Minuten und 13 Secunden von der Sonne zur Erde gelangt. Diese Lichtmaterie muß man natürlich als äußerst fein und den Wirkungen der Schwere nicht unterworfen, also als imponderabel annehmen. Die Verschiedenheit der Farben rührt von einer Verschiedenheit in der Geschwindigkeit her; die Reflexion ist nach dieser Ansicht dem Abprallen elastischer Körper analog. Um nach dieser Theorie die Brechung zu erklären, müßte man annehmen: 1) daß sich in den durchsichtigen Körpern hinreichend große Zwischenräume befinden, um den Lichttheilchen den Durchgang zu gestatten, und 2) daß die wägbaren Moleküle auf die Lichttheilchen eine anziehende Kraft ausüben, welche combinirt mit der einmal erlangten Geschwindigkeit der Lichttheilchen ihre Ablenkung bewirkt.

Die Vibrationstheorie nimmt an, daß sich das Licht durch die Schwingungen der Theilchen eines unwägbaren Stoffes fortpflanzt, welcher den Namen Aether führt. Nach dieser Theorie ist das Licht etwas dem Schalle Aehnliches; der Schall wird aber durch die Schwingungen der wägbaren Materie, das Licht durch die Schwingungen eines Aethers fortgepflanzt. Der Aether erfüllt den ganzen Weltraum, da das Licht alle Räume des Himmels durchdringt. Der Aether ist aber nicht bloß in den sonst leeren Räumen verbreitet, welche die Gestirne trennen, er durchdringt alle Körper und füllt die zwischen den wägbaren Atomen befindlichen Räume aus.

Wo der Aether in Ruhe ist, herrscht vollkommene Finsterniß; an einer Stelle gleichsam erschüttert, pflanzen sich die Lichtwellen nach allen Seiten hin fort, wie sich die Schwingungen einer Saite in einer ruhigen Atmosphäre weithin verbreiten. Das Licht, welches erst durch eine Bewegung entsteht, ist also

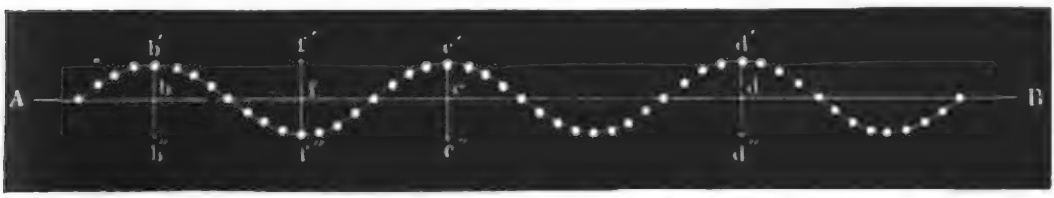
wohl von dem Aether ſelbſt zu unterſcheiden, wie die Vibrationsbewegung, welche den Schall hervorbringt, von den oſcillirenden Theilchen der wägbaren Materie unterſchieden wird.

Lange Zeit hindurch zählten beide Theorien Anhänger unter den Phyſikern. Newton hatte die Emanationstheorie aufgeſtellt, Huyghens iſt als Schöpfer der Undulationstheorie zu betrachten. Das gründliche Studium derjenigen Lichterſcheinungen, welche in den folgenden Paragraphen beſprochen werden, hat der Undulationstheorie einen entſchiedenen Sieg verſchafft, denn dieſe Erſcheinungen laſſen ſich ſehr einfach durch die Annahme von Lichtwellen, nicht aber durch die Emiſſionstheorie erklären.

Elemente der Vibrationstheorie. Die Theilchen eines leuchtenden Körpers vibriren auf ähnliche Weiſe, wie dies bei den ſchallenden Körpern der Fall iſt, nur ſind die Lichtvibrationen ungleich ſchneller als die Schallſchwingungen, dann aber werden ſie auch nicht durch die wägbare Materie ſelbſt, ſondern durch den Lichtäther fortgepflanzt. 159

Wenn ſich ein Lichtſtrahl in der Richtung von A nach B, Fig. 340, fortpflanzt, ſo vibriren alle Aethertheilchen, welche im Zuſtande des Gleichgewichtes auf der geraden Linie AB liegen würden, in Richtungen, welche rechtwinkelig auf AB ſtehen, ungefähr ſo, wie die Theile eines geſpannten Seiles ſchwingen, wenn man an dem einen Ende einen kräftigen Schlag gegen daſſelbe geführt hat. Die Curve in Fig. 340 ſtellt die gegenſeitige Stellung der vibrirenden Moleküle in einem beſtimmten Momente der Bewegung dar.

Fig. 340.



Betrachten wir die Schwingungen eines Aethermoleküls etwas genauer. Das Theilchen, deſſen Gleichgewichtslage b iſt, vibrirt von b nach b' von da nach b'' und dann beſtändig zwiſchen b' und b'' hin und her. In b' iſt ſeine Geſchwindigkeit Null; je mehr ſich aber das Theilchen der Gleichgewichtslage nähert, deſto mehr wächſt ſeine Geſchwindigkeit, welche ihr Maximum in dem Momente erreicht, in welchem das Molekül die Gleichgewichtslage paſſirt; von nun an nimmt die Geſchwindigkeit wieder ab, bis ſie endlich in b'' wieder Null wird, worauf dann die Bewegung nach entgegengeſetzter Richtung beginnt.

Obgleich ſich das Licht mit außerordentlicher Geſchwindigkeit fortpflanzt, ſo geſchieht dieſe Fortpflanzung doch nicht momentan; die Vibrationen eines Aethermoleküls theilen ſich alſo auch nicht momentan den in der Richtung des Strahles ihm folgenden Molekülen mit. Stellen wir uns vor, die ganze Reihe von Molekülen auf der Linie AB ſei in Ruhe. Wenn nun das Molekül in b

in einem bestimmten Momente seine Vibrationen beginnt, so werden alle weiter nach B hin liegenden Moleküle später zu vibriren beginnen, und zwar um so später, je weiter sie von b entfernt sind; während das Molekül b eine vollständige Oscillation macht, wird sich die Bewegung bis zu irgend einem Molekül c fortpflanzen, so daß dieses Molekül seine erste Vibration in demselben Momente beginnt, in welchem b seine zweite anfängt. Von nun an werden die Moleküle b und c stets in gleichen Schwingungszuständen sich befinden, d. h. sie werden gleichzeitig, nach derselben Seite hin sich bewegend, die Gleichgewichtslage passiren, gleichzeitig das Maximum der Ausweichung auf der einen und auf der anderen Seite von AB erreichen.

Die Entfernung bc zweier Aethermoleküle, welche sich stets in gleichen Schwingungszuständen befinden, heißt, wie wir schon früher gesehen haben, eine Wellenlänge. Wenn cd auch eine Wellenlänge ist, so wird das Molekül d seine erste Oscillation in demselben Augenblicke beginnen, in welchem c seine zweite und b seine dritte Oscillation beginnt; d wird sich von nun an mit c und b stets in gleichen Schwingungszuständen befinden.

Wenn f in der Mitte zwischen b und c liegt, d. h. wenn es um eine halbe Wellenlänge von b entfernt ist, so befindet sich das Molekül f stets in Schwingungszuständen, welche denen der Moleküle in b und c entgegengesetzt sind. Wenn b und c das Maximum der Ausweichung oberhalb AB erreichen, so erreicht f das Maximum der entgegengesetzten Seite. Das Molekül f passirt mit b und c gleichzeitig die Gleichgewichtslage, allein in entgegengesetzter Richtung sich bewegend.

Wenn zwei Aethertheilchen auf dem Wege eines Lichtstrahls um $^1/_2$ Wellenlänge von einander entfernt sind, so sind sie stets von gleichen, aber entgegengesetzten Geschwindigkeiten afficirt. Dasselbe gilt von solchen Theilchen, die um $^3/_2$, $^5/_2$, $^7/_2$ u. s. w. Wellenlängen von einander abstehen.

Die Wellenlänge ist für die verschiedenen Farben nicht gleich; am größten ist die Wellenlänge der rothen, am kleinsten die Wellenlänge der violetten Strahlen. Wie es möglich war, die Wellenlänge der verschiedenfarbigen Strahlen mit außerordentlicher Genauigkeit zu bestimmen, können wir hier nicht weiter anführen.

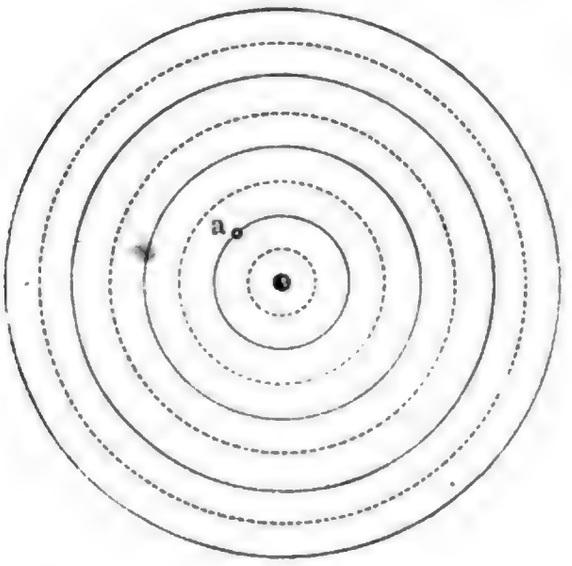
Mit der ungleichen Wellenlänge hängt auch die ungleiche Schwingungsdauer zusammen; die Vibrationen der violetten Strahlen sind die schnellsten, die der rothen dagegen die langsamsten.

Man sieht also, daß beim Lichte die Verschiedenheit der Farben der ungleichen Höhe und Tiefe der Töne entspricht.

Von der Art und Weise, wie sich von einem leuchtenden Punkte aus die Lichtwellen ringsum verbreiten, kann man sich ein recht deutliches Bild machen, wenn man die Wellen betrachtet, welche auf der Oberfläche eines stillstehenden Wassers entstehen, wenn man einen Stein hineinwirft, und die wir auch schon

oben betrachtet haben. Von der Stelle aus, an welcher der Stein in das Wasser einsank, verbreiten sich ringsum kreisförmige Wellen. Die Wassertheilchen an der Stelle, an welcher der Stein ins Wasser fiel, gehen abwechselnd auf und nieder, und diese Bewegung pflanzt sich ringsum mit gleicher Geschwindigkeit fort; alle Wassertheilchen also, welche gleichweit von dem Mittelpunkte entfernt sind, werden sich auch in gleichen Schwingungszuständen befinden, d. h. sie werden gleichzeitig ihre höchste und gleichzeitig ihre tiefste Stellung erreichen; es werden sich also concentrische Wellenberge und Wellenthäler bilden, wie dies durch Fig. 341 anschaulich gemacht werden soll. Wenn für einen bestimmten Moment die ausgezogenen Kreise den Wellenbergen, die punktirten aber den Wellenthälern entsprechen, so werden die Wellenberge nach außen hin in der Weise fortschreiten, daß nach einer kurzen Zeit gerade an den punktirten Stellen sich die Wellenberge befinden, die Thäler aber in den ausgezogenen Kreisen.

Fig. 341.



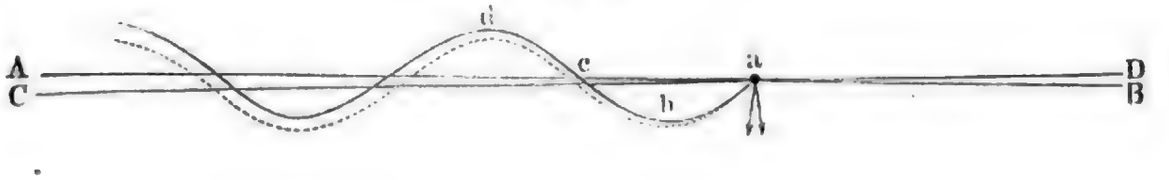
Sowie sich die Wasserwellen in concentrischen Kreisen um den Oscillationsmittelpunkt verbreiten, so verbreiten sich die Lichtvibrationen in concentrischen Kugelschichten um die Lichtquelle; die Oberfläche der Lichtwellen ist kugelförmig, wenigstens so lange die Elasticität des Aethers nach allen Richtungen hin dieselbe bleibt.

Interferenz der Lichtstrahlen. Wir werden schon im nächsten 160
Paragraphen die Erscheinung kennen lernen, daß durch das Zusammenwirken zweier Lichtstrahlen bald verstärktes Licht, bald aber vollkommene Dunkelheit erzeugt wird.

Eine solche durch das Zusammenwirken zweier Lichtstrahlen hervorgebrachte Verstärkung oder Aufhebung wird mit dem Namen der Interferenz der Lichtstrahlen bezeichnet. Die Interferenz der Lichtstrahlen läßt sich folgendermaßen erklären.

In Fig. 342 mögen die Linien AB und CD zwei elementare Lichtstrahlen darstellen, welche, von einer Lichtquelle ausgehend, auf verschiedenen Wegen

Fig. 342.



zu dem Punkte a gelangen und sich hier unter einem sehr spitzen Winkel schneiden. Wenn der Weg, welchen der Lichtstrahl CD von der Lichtquelle an bis zu dem Punkte a zurückgelegt hat, gerade eben so groß oder um 1, 2, 3 u. s. w. ganze Wellenlängen größer ist, als die Länge von derselben Lichtquelle bis zu dem Punkte a auf dem Wege des anderen Strahles, so werden die beiden Strahlen in a in der Weise zusammenwirken, wie es die Fig. 342 darstellt.

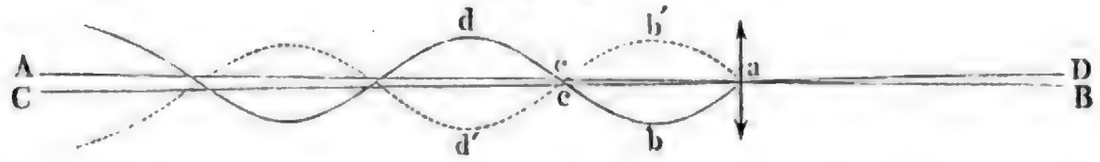
Die Wellenlinie $a\,b\,c\,d$ u. s. w. stellt für irgend einen Moment die gegenseitige Lage der Aethertheilchen dar, welche den Strahl in der Richtung AB fortpflanzen. Das Theilchen b hat eben seine äußerste Stellung unterhalb AB erreicht, das Theilchen a passirt eben die Gleichgewichtslage in der Richtung, welche der kleine Pfeil andeutet.

Die punktirte Wellenlinie zeigt uns den gleichzeitigen Oscillationszustand der Aethertheilchen, welche den Lichtstrahl CD fortpflanzen. Wenn beide Strahlen von der Lichtquelle bis zum Punkte a gleiche Wege durchlaufen haben, so wird das Theilchen a gleichzeitig durch die Vibrationen beider Strahlen auf dieselbe Weise afficirt werden; in dem durch unsere Zeichnung dargestellten Momente wird das Theilchen a durch das zweite Wellensystem ebenfalls nach unten getrieben, die Vibrationsintensität ist also doppelt so groß, als wenn seine Bewegung nur durch die Vibrationen des einen Lichtstrahls bedingt wäre.

In derselben Weise müssen sich auch die Vibrationen zweier Lichtstrahlen unterstützen, welche in einem Punkte zusammentreffen, wenn sie in ihrem Gange um irgend ein Vielfaches einer ganzen Wellenlänge von einander abweichen.

Die Fig. 343 versinnlicht das Zusammenwirken zweier Strahlen, von denen der eine dem anderen um eine halbe oder irgend ein ungerades Viel-

Fig. 343.



faches einer halben Wellenlänge vorausgeeilt ist. Durch die Vibrationen des einen Strahles (die ihm entsprechende Wellenlinie ist ausgezogen, während die dem anderen Strahle entsprechende punktirt ist) wird das Theilchen a in demselben Augenblicke nach unten getrieben, in welchem die Vibrationen des anderen Strahles dasselbe mit gleicher Kraft aufwärts zu bewegen streben; die beiden entgegengesetzten Kräfte heben sich also auf, das Theilchen a bleibt in Ruhe.

Wir haben bisher nur diejenigen Fälle betrachtet, in welchen der Gangunterschied der interferirenden Strahlen ein Vielfaches einer ganzen Wellenlänge oder ein ungerades Vielfaches einer halben Wellenlänge beträgt. Wenn der Gangunterschied zwischen diese Gränzen fällt, so wird durch die Interferenz der beiden Strahlen auch eine Wirkung hervorgebracht, welche zwischen den Wirkungen der besprochenen Gränzfälle liegt, d. h. es wird keine vollkommene Vernichtung der Vibrationen, aber auch keine Verdoppelung der Vibrationsintensität

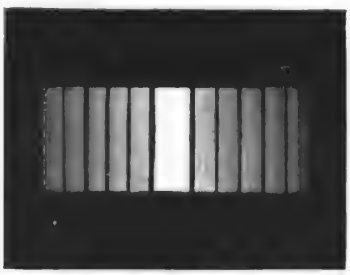
eintreten können. Die wirklich hervorgebrachte Vibrationsintensität nähert sich mehr dem einen oder dem anderen dieser Gränzwerthe, je nachdem die Gangunterschiede sich mehr einem ungeraden Vielfachen einer halben Wellenlänge oder einem Vielfachen einer ganzen Wellenlänge nähern.

Wir gehen nun zur Betrachtung derjenigen Erscheinungen über, welche sich auf das Princip der Interferenz zurückführen lassen.

Die Beugung des Lichtes. Wenn man das kleine Sonnenbild- 161
chen auf einem innen geschwärzten Uhrglase, auf einem polirten Metallknopfe oder einer Thermometerkugel durch eine ganz feine kreisförmige Oeffnung betrachtet, wie man sie etwa mit einer feinen Nadel in ein Kartenblatt machen kann, so sieht man einen hellen runden Fleck, umgeben von mehreren farbigen Ringen. Fig. 344 stellt diese Erscheinung dar.

Fig. 344.

Fig. 345.

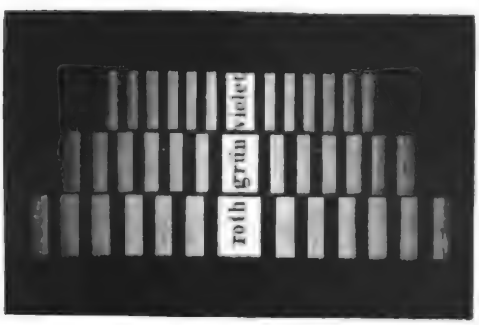


Macht man statt des Punktes eine ganz feine geradlinige Spalte in das Kartenblatt, betrachtet man durch diese Spalte die Lichtlinie auf einer innen geschwärzten, in die Sonne gelegten Glasröhre, welche dem Spalte parallel ist, so beobachtet man die Erscheinung Fig. 345. In der Mitte des Bildes sieht man einen hellen Streifen, zu beiden Seiten aber schmälere Farbenstreifen, die nach außen hin immer lichtschwächer werden.

Je feiner die kreisförmige Oeffnung und je schmaler die Spalte ist, desto breiter sind im einen Falle die Ringe und im anderen die Streifen.

Am einfachsten wird die Erscheinung, wenn man mit dem Kartenblatte ein einfarbiges Glas, etwa ein rothes, vors Auge hält; alsdann sieht man, durch die Spalte blickend, in der Mitte einen hellen rothen Streifen, welcher zu beiden Seiten durch einen schwarzen Streifen begränzt ist; darauf folgen dann auf beiden Seiten noch mehrere rothe Seitenbilder, welche immer schwächer werden, und deren immer eins vom anderen durch einen schwarzen Streifen getrennt ist, ungefähr wie dies in der untersten Reihe Fig. 346 dargestellt ist.

Fig. 346.



Die hellen Seitenbilder sowohl wie der helle Streifen in der Mitte sind aber durch die schwarzen Streifen nicht

ſcharf abgegränzt, der Uebergang vom hellen Lichte bis zu den dunkelſten Stellen iſt allmälig.

Durch ein grünes Glas beobachtet man dieſelbe Erſcheinung, nur ſind die Streifen ſchmäler; noch ſchmäler ſind ſie, wenn man ein violettes Glas anwendet, wie dies Fig. 346 angedeutet iſt.

Eine zweite für das Verſtändniß der Beugungserſcheinungen weit vortheilhaftere Beobachtungsmethode beſteht darin, daß man das Beugungsbild objectiv auf einem weißen Schirme auffängt. Zu dieſem Zwecke läßt man durch eine verticale Spalte von ungefähr 2^{mm} Breite ein Bündel Sonnenſtrahlen in horizontaler Richtung in ein dunkles Zimmer eintreten und fängt daſſelbe in 8 bis 10 Fuß Entfernung durch einen Schirm BA, Fig. 347, auf, in welchem ſich eine zweite, etwa 1^{mm} breite, der erſten parallele Spalte CD befindet. Stellt man endlich abermals 8 bis 10 Fuß hinter dem Schirme BA einen zweiten, mit weißem Papier überzogenen Schirm RT auf, ſo erblickt man alsdann auf dieſem die Beugungsfigur.

Fig. 347.

Die Erklärung dieſer Erſcheinungen kann hier nur kurz angedeutet werden.

Wenn das Licht von einem hinlänglich weit entfernten Punkte ſenkrecht auf die Ebene des Schirmes AB fällt, Fig. 347, in welchem ſich die Oeffnung CD befindet, ſo kann man alle in dieſer Oeffnung befindlichen Aethertheilchen als gleichweit von der Lichtquelle entfernt betrachten; alle dieſe Aethertheilchen befinden ſich alſo in gleichen Schwingungszuſtänden. Jedes dieſer Aethertheilchen pflanzt aber ſeine Vibrationen jenſeits des Schirmes nach allen Seiten hin ſo fort, als ob es ein ſelbſtleuchtendes Theilchen wäre; die Stärke der Erleuchtung in irgend einem hinter dem Schirme AB gelegenen Punkte S hängt alſo nur davon ab, welche Wirkung durch die Interferenz aller in S zuſammentreffenden von den verſchiedenen Punkten der Oeffnung DC ausgehenden Strahlen hervorgebracht wird.

Die Lichtſtrahlen, welche ſich von CD aus rechtwinkelig zur Oeffnung fortpflanzen, werden ſich ſtets unterſtützen; daher iſt die Mitte des Bildes auf dem Schirme RT hell. Geht man aber zu Punkten über, die ſeitwärts liegen, ſo werden ſich nicht mehr alle hier zuſammentreffenden Strahlen gegenſeitig unterſtützen; nach der Seite hin muß alſo die Lichtſtärke abnehmen, bis zu einem

Punkte, in welchem alle von CD aus zusammentreffenden Lichtstrahlen sich vollständig aufheben; hier beobachtet man einen dunklen Streifen.

Noch weiter von der Mitte kommen wieder Punkte, in denen keine vollständige Aufhebung der hier von CD aus zusammentreffenden Lichtwellen stattfindet, in welchen also wieder Licht beobachtet wird; darauf folgen wieder dunklere Stellen, in denen sich alle Lichtwellen gegenseitig aufheben u. s. w.

Daß die hellen und dunklen Streifen für verschiedenfarbige Strahlen nicht zusammenfallen, rührt daher, daß sie ungleiche Wellenlängen haben.

Wenn man den Versuch mit weißem Lichte anstellt, so wird man in der Mitte des Beugungsbildes einen weißen Streif sehen, weil hier das Maximum der Lichtstärke für alle Farben zusammentrifft; die Seitenbilder sind aber gefärbt, nirgends ist mehr ein ganz weißer oder ganz schwarzer Streifen zu sehen, denn da, wo für eine Farbe ein schwarzer Streifen ist, ist für eine andere Farbe ein heller Streifen.

Die Form der Beugungserscheinungen hängt von der Form der Oeffnungen ab; auch ändert sie sich mit der Zahl der Oeffnungen.

Wenn zwei feine kreisförmige Oeffnungen im Schirme ganz nahe beisammenstehen, ungefähr so . . , so erblickt man, nach einem Lichtpunkte hinsehend, wieder dieselben Ringe, Fig. 344, als ob nur eine Oeffnung da wäre; diese Ringe erscheinen aber durch gerade schwarze Streifen durchschnitten, welche auf der Richtung der Verbindungslinie beider Oeffnungen rechtwinkelig stehen. Diese schwarzen Streifen gehen auch durch den centralen hellen Fleck, Fig. 344, hindurch.

Dieser Versuch beweist klar, daß durch das Zusammenwirken zweier Lichtstrahlen Dunkelheit entstehen, oder mit anderen Worten, daß die Wirkung eines Lichtstrahls durch die eines anderen aufgehoben werden kann. Wenn das Licht nur durch ein Loch einfällt, so erblickt man die Fig. 344, sobald aber die zweite Oeffnung hinzukommt, erscheinen schwarze Streifen in den hellen Theilen dieses Bildes; hier wird also die Lichtwirkung der durch die eine Oeffnung einfallenden Strahlen durch diejenigen Strahlen aufgehoben, welche durch die andere Oeffnung kommen.

Sehr schön sind die Beugungserscheinungen, welche man durch eine Reihe feiner Oeffnungen, etwa durch eine Reihe paralleler feiner Linien, welche auf eine Glasplatte radirt sind, erblickt. In diese Classe der Erscheinungen gehört auch diejenige, welche man wahrnimmt, wenn man durch den Bart der Feder eines kleineren Vogels nach einem Lichtpunkte sieht, ja diese Erscheinung ist schon sehr brillant, wenn man statt des Lichtpunktes nur ein Kerzenlicht anwendet.

Wenn man auf eine Glasplatte sogenanntes Hexenmehl (semen lycopodii) streut und dadurch nach einer Kerze sieht, so erblickt man eine schöne, aus mehreren farbigen Ringen zusammengesetzte Glorie. Auch dies ist eine Beugungserscheinung.

Länge der Lichtwellen. Es ist bereits oben erwähnt worden, daß 162
die Länge der Lichtwellen für verschiedene Farben nicht gleich ist. Die genaue Messung der Beugungserscheinungen macht es nun möglich, die Länge der Lichtwellen trotz ihrer Kleinheit mit großer Genauigkeit zu ermitteln.

Folgendes ist die Länge der Lichtwellen für die verschiedenen farbigen Strahlen:

Mittleres Roth	0,0000248	Zoll
Orange	0,0000217	„
Gelb	0,0000201	„
Grün	0,0000184	„
Blau	0,0000168	„
Indigo	0,0000156	„
Violet	0,0000145	„

Kennt man die Wellenlänge, so kann man auch die Schwingungsdauer der Lichtwellen berechnen, da man ja weiß, wie viel Zeit das Licht braucht, um von der Sonne zur Erde zu gelangen, und da bei jeder Schwingung der Lichtstrahl um eine Wellenlänge fortschreitet. Es ergeben sich:

für rothes Licht	477 000 000 000 000
für violettes Licht	699 000 000 000 000

Schwingungen in der Secunde. Ausführlicheres über die Berechnung der Wellenlänge, sowie über Beugungserscheinungen überhaupt findet man in meinem Lehrbuch der Physik.

163 Farben dünner Blättchen. Jeder durchsichtige Körper erscheint lebhaft gefärbt, wenn er nur hinlänglich dünne Schichten bildet, wie man dies am leichtesten an den Seifenblasen sehen kann. Die Flitterchen einer vor der Glasbläserlampe bis zum Zerplatzen aufgeblasenen Glaskugel schillern in den glänzendsten Farben; ähnliche Farben beobachtet man, wenn ein Tropfen Oel (am besten ein ätherisches Oel, z. B. Terpentinöl) sich auf einer Wasserfläche ausbreitet; wenn ein glänzendes Metallstück, im Feuer erhitzt, sich allmälig mit einer Oxydschicht überzieht (Anlaufen des Stahls). Auch dünne Schichten von Luft bringen solche Farben hervor, wie man oft an Sprüngen in etwas dicken Glasmassen sieht.

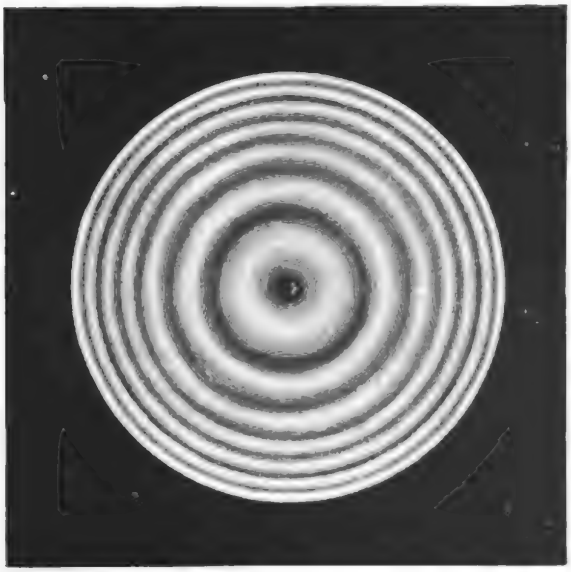
In der größten Regelmäßigkeit zeigen sich diese Farben in Form von Ringen, wenn man eine Glaslinse von großer Brennweite auf eine ebene Glastafel, oder umgekehrt die ebene Glastafel auf die Linse legt. Newton, welcher diese Farbenringe studirte, die auch nach ihm gewöhnlich die Newton'schen Ringe genannt werden, wandte Linsen an, deren Krümmungshalbmesser 15 bis 20 Meter betrug. Da, wo die Glastafel die Linse berührt, sieht man im reflectirten Lichte einen schwarzen Fleck, der mit farbigen concentrischen Ringen umgeben ist, die nach außen hin immer schmäler und matter werden, ungefähr wie Fig. 348 zeigt.

Betrachtet man die Ringe durch ein einfarbiges Glas, so sieht man nur abwechselnd helle und dunkle Ringe. Für rothes Licht sind diese Ringe weiter, als für grünes; für grünes weiter, als für violettes. Wenn man statt des farbigen Lichtes weißes anwendet, so kann man nirgends mehr einen ganz schwarzen und nirgends mehr einen ganz weißen Ring sehen, weil weder die hellen noch die dunklen Ringe der verschiedenen Farben zusammenfallen; überall sieht man Farben, die nicht mehr reine Farben des Spectrums, sondern Mischfarben sind.

Dieſe Farbenerſcheinungen laſſen ſich folgendermaßen erklären:

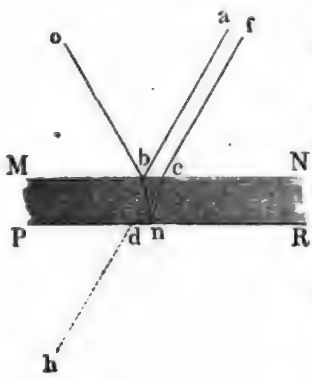
Wenn Lichtſtrahlen auf eine dünne Schicht eines durchſichtigen Körpers fallen, ſo werden ſie theilweiſe an der oberen, theilweiſe an der unteren Fläche derſelben reflectirt; die von beiden Flächen reflectirten Lichtſtrahlen werden interferiren und ſich je nach der Differenz der durchlaufenen Wege bald gegenſeitig vernichten, bald verſtärken.

Fig. 348.



Betrachten wir dieſen Hergang der Sache etwas näher. In Fig. 349 ſtelle $MNPR$ eine dünne Schicht irgend eines durchſichtigen Körpers vor, welche durch ein Bündel paralleler Strahlen getroffen wird; irgend einer dieſer Strahlen ab wird nun theilweiſe in der Richtung bo reflectirt, theilweiſe aber nach d gebrochen. Von letzteren wollen wir vor der Hand keine Notiz nehmen. Ein zweiter mit ab paralleler Strahl fc erleidet in c gleichfalls eine theilweiſe Reflexion und Refraction, der gebrochene Strahl wird in n nach nb geſpiegelt und tritt dann in derſelben Richtung ba aus, wie der zuerſt betrachtete in b geſpiegelte Strahl. Die beiden nach der gleichen Richtung bo ſich fortpflanzenden Strahlen müſſen alſo interferiren und zwar werden ſie ſich gegenſeitig aufheben, wenn die Dicke der Platte von der Art iſt, daß der Gangunterſchied der beiden interferirenden Strahlen gleich $^1/_2$, $^3/_2$, $^5/_2$, alſo ein ungerades Vielfaches einer halben Wellenlänge beträgt; Verſtärkung des Lichtes findet Statt, wenn der Gangunterſchied 1, 2, 3 u. ſ. w. Wellenlängen iſt.

Fig. 349.



Wie kommt es aber, daß nur dünne Schichten ſolche Farben zeigen, daß Plättchen von einiger Dicke ſie ſchon nicht mehr zeigen? Nehmen wir, der leichteren Ueberſicht wegen, an, die Lichtwellen der violetten Strahlen ſeien halb ſo groß wie die der rothen (ſie ſind in der That etwas größer als halb ſo groß), ſo werden auch die Durchmeſſer der violetten Ringe halb ſo groß ſein als die der rothen; an derſelben Stelle, wo der erſte dunkle Ring für rothes Licht iſt, liegt auch der zweite dunkle Ring für violettes Licht und ein heller Ring für eine ungefähr zwiſchen Roth und Violet in der Mitte liegende Farbe; dieſe Farbe iſt an dieſer Stelle entſchieden vorherrſchend.

An der Stelle, wo der siebente dunkle Ring für rothes Licht liegt, wird der vierzehnte dunkle Ring für violettes Licht liegen; an derselben Stelle befinden sich also noch sechs dunkle Ringe und sieben helle Ringe für zwischenliegende Farben. Wenn also das äußerste Roth, die Gränze zwischen Roth und Orange, zwischen Orange und Gelb, Gelb und Grün, Grün und Blau, Blau und Indigo, Indigo und Violet und das äußerste Violet im Minimum sind, so sind dagegen die mittleren rothen, orangefarbigen, gelben, grünen, blauen, indigofarbenen und violetten Strahlen im Maximum, keine dieser Farben kann entschieden vorherrschen, sie geben zusammen weiß.

Auch im durchgelassenen Lichte zeigen dünne Plättchen ähnliche, jedoch weit mattere Farben, welche zu denen im reflectirten Lichte complementär sind.

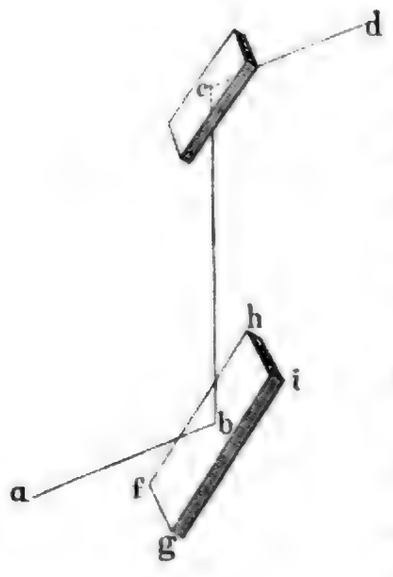
164 Polarisation des Lichtes. Wenn man aus einem durchsichtigen Turmalinkrystall eine Platte schneidet, deren Oberfläche mit der Säulenaxe parallel läuft, und durch eine solche Turmalinplatte nach einer polirten Tischplatte hinsieht, welche das Licht des Himmels ungefähr unter einem Winkel von 30 bis 40° nach dem Auge reflectirt, so sieht man die polirte Fläche bald hell, bald dunkel, je nachdem man die Turmalinplatte um eine senkrecht zu ihrer Ebene liegende Axe dreht; sie läßt also nicht in jeder Lage die von der Tischplatte reflectirten Strahlen durch. Den Lichtstrahlen muß also durch die Reflexion auf der polirten Tafel eine eigenthümliche Modification mitgetheilt worden sein, welche man mit dem Namen der Polarisation bezeichnet.

Hätte man die unter ähnlichen Umständen von einer Glasplatte reflectirten Strahlen mit der Turmalinplatte untersucht, so hätte man dieselbe Erscheinung beobachtet; also auch durch die Reflexion auf einer Glasfläche werden die Lichtstrahlen polarisirt.

Auch die Turmalinplatte läßt sich durch einen Glasspiegel ersetzen.

Fällt ein gewöhnlicher Lichtstrahl ab, Fig. 350, auf eine ebene Glastafel $fghi$ in einem Winkel von $35\,^1/_2$ Grad auf, so wird er zum großen Theil nach den gewöhnlichen Gesetzen in der Richtung bc reflectirt. Der in der Richtung bc gespiegelte Strahl ist aber durch diese Reflexion polarisirt. Es ist gut, wenn die Glasplatte $fghi$ auf der Rückseite geschwärzt ist; denn sonst pflanzen sich in der Richtung bc außer den durch Reflexion polarisirten Strahlen auch solche fort, welche von Gegenständen herrühren, die sich unterhalb $fghi$ befinden, und welche durch diese Glastafel hindurchgegangen sind.

Fig. 350.

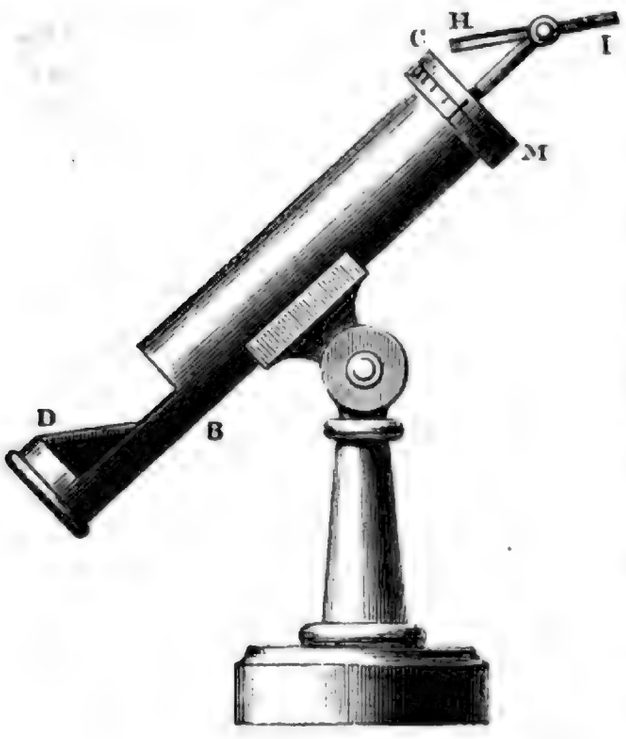


Fällt der durch Reflexion polarisirte Strahl bc auf eine zweite, ebenfalls auf der Rückseite geschwärzte Glastafel, welche der unteren parallel ist, so macht der Strahl bc auch mit dieser einen Winkel von $35\,^1/_2{}^0$, und die Reflexionsebene des oberen Spiegels fällt mit der des unteren zusammen.

Bei dieser Lage des zweiten Spiegels wird der Strahl bc wie jeder gewöhnliche Lichtstrahl reflectirt; dreht man jedoch den oberen Spiegel so, daß die Richtung des Strahles bc die Umdrehungsaxe bildet, so bleibt zwar der Winkel, welchen der einfallende Strahl bc mit der Spiegelfläche macht, unverändert, allein der Parallelismus der beiden Spiegel hört auf, die Reflexionsebene des oberen Spiegels fällt nicht mehr mit der des unteren zusammen. Dreht man nun auf die angegebene Weise den oberen Spiegel aus der Lage des Parallelismus mit dem unteren heraus, so wird die Intensität des zum zweiten Male reflectirten Strahles um so mehr abnehmen, je mehr der Winkel wächst, den die Reflexionsebene des oberen Spiegels mit der des unteren macht, bis dieser Winkel 90^0 geworden ist, oder mit anderen Worten, bis die Reflexionsebenen beider Spiegel sich unter einem rechten Winkel kreuzen. Bei dieser Stellung wird der Strahl bc von dem oberen Spiegel gar nicht mehr reflectirt, was doch der Fall sein müßte, wenn bc ein gewöhnlicher Lichtstrahl wäre. Bei weiter fortgesetzter Drehung des oberen Spiegels nimmt die Intensität des reflectirten Strahles allmälig wieder zu, bis sie wieder ihr Maximum erreicht, wenn die ganze Drehung 180^0 beträgt. In dieser Stellung fallen die Reflexionsebenen der beiden Spiegel abermals zusammen. Dreht man noch weiter, so wird der vom oberen Spiegel reflectirte Strahl wieder schwächer und verschwindet ganz, wenn die Reflexionsebenen beider Spiegel wieder gekreuzt sind, also bei einer Drehung von 270^0 ꝛc.

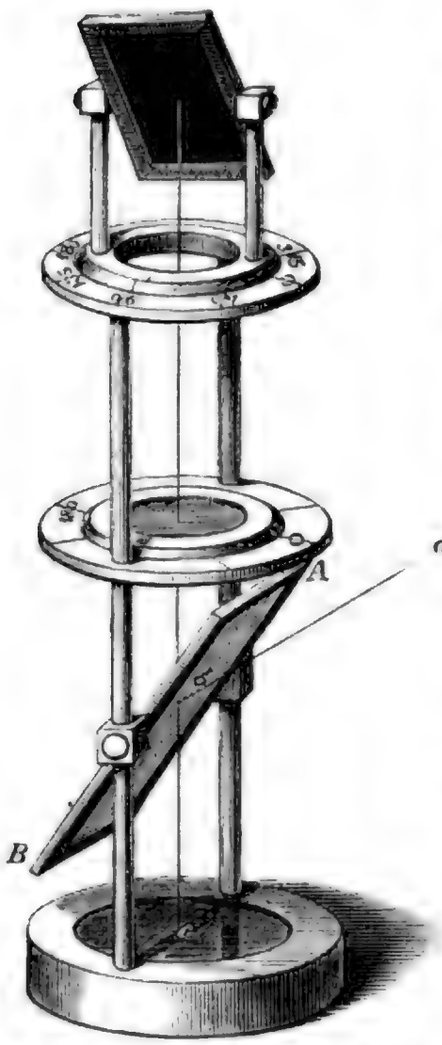
Eine Vorrichtung, an welcher zwei Polarisationsspiegel so angebracht sind, daß man damit den eben beschriebenen Versuch anstellen kann, heißt Polarisationsapparat. Die einfachste Einrichtung, welche man dem Polarisationsapparate geben kann, ist die Fig. 351 abgebildete. An dem einen Ende einer metallenen oder hölzernen Röhre ist ein auf der Rückseite geschwärzter Spiegel DB so befestigt, daß er einen Winkel von $35^1/_2{}^0$ mit der Axe der Röhre macht, daß also Strahlen, welche in einem Winkel von $35^1/_2{}^0$ auf den Spiegel fallen, so reflectirt werden, daß sie in der Richtung dieser Axe durch die Röhre hindurchgehen. Auf dem anderen Ende der Röhre steckt eine Hülse, an welcher ein zweiter hinten geschwärzter Spiegel HJ befestigt ist, der ebenfalls einen Winkel von $35^1/_2{}^0$ mit der Axe der Röhre macht; durch Umdrehung der Hülse wird auch der Spiegel mit umgedreht und kann durch diese Drehung in alle die Lagen gebracht werden, von denen eben die Rede war.

Fig. 351.



Die eben beschriebene Form des Polarisationsapparates ist unbequem; die zweckmäßigste Form des Polarisationsapparates ist die in Fig. 352 in $^1/_4$ der natürlichen Größe dargestellte. In einem runden Fußgestelle, welches nicht zu leicht sein darf, damit der Apparat die nöthige Stabilität erhalte, befinden sich am Rande, diametral einander gegenüberstehend, zwei Stäbe, zwischen denen ein Rähmchen AB angebracht ist, welches eine Platte von geschliffenem Spiegelglase einschließt. Dieses Rähmchen und mit ihm der Spiegel ist mittelst zweier Zapfen um eine horizontale Axe drehbar, so daß man dem Spiegel jede beliebige Lage gegen die Richtung des Bleilothes geben kann. Der Spiegel wird jedoch gewöhnlich in einer solchen Lage festgestellt, daß seine Ebene einen Winkel von $35^1/_2{}^0$ mit der Verticalen macht. Fällt bei dieser Stellung des Spiegels ein Lichtstrahl ab in einem Winkel von $35^1/_2{}^0$ auf den Spiegel, so geht er zum Theil durch das Glas hindurch, und diesen Theil haben wir weiter nicht zu betrachten; zum Theil aber wird er in der Richtung bc vertical nach unten reflectirt. Dieser reflectirte Strahl ist nun polarisirt; eine durch die Linien ab und bc gelegte Ebene ist seine Polarisationsebene.

Fig. 352.



Auf dem Fußgestelle befindet sich in wagerechter Lage ein auf der Rückseite belegter Spiegel, den der polarisirte Strahl bc rechtwinkelig trifft, so daß er in der Richtung cb zurückgeworfen wird und durch den Polarisationsspiegel hindurch zum oberen Theile des Apparates gelangt. Den mittleren Theil des Apparates bildet ein durch eine Glasplatte verschlossener Ring. Die oberen Enden der Stäbe tragen einen in Grade getheilten Ring. Der Nullpunkt dieser Theilung liegt so, daß, wenn man sich durch die Theilstriche 0 und 180^0 eine Verticalebene gelegt denkt, diese Ebene mit der Reflexionsebene des unteren Spiegels, also mit der Polarisationsebene der durch den unteren Spiegel polarisirten Strahlen, zusammenfällt. In diesem getheilten Ringe ist ein anderer drehbar, auf welchem diametral gegenüberstehend zwei Säulchen angebracht sind, zwischen denen ein Spiegel von schwarzem Glase oder ein auf der Rückseite geschwärzter Spiegel ebenso befestigt ist, wie der untere Polarisationsspiegel zwischen den Stäben; wie der untere um eine horizontale Axe drehbar, kann der schwarze Spiegel leicht so gestellt werden, daß er einen Winkel von $35^1/_2{}^0$ mit der Verticalen macht.

Der drehbare Ring, auf welchem die Säulchen stehen, ist am Rande etwas zugeschärft, und gerade in der Mitte der vorderen Hälfte des Ringes ist eine

Linie, ein Index, auf die Zuschärfung gezogen. Eine durch diesen Index und den Mittelpunkt des Ringes gelegte Verticalebene fällt mit der Reflexionsebene des oberen Spiegels zusammen. Dreht man den Ring, welcher diesen Spiegel trägt, so, daß der Index mit dem Nullpunkte der Theilung zusammenfällt, so fallen die Reflexionsebenen des oberen und des unteren Spiegels zusammen. Dasselbe ist der Fall, wenn der Index bei 180° steht. Wenn der Index bei 90° (wie in unserer Figur) oder bei 270° steht, so macht die Reflexionsebene des oberen Spiegels einen rechten Winkel mit der Reflexionsebene des unteren Polarisationsspiegels.

Die Erscheinungen der gewöhnlichen Polarisation, welche man an diesem Apparate beobachten kann, sind folgende: Wenn beide Spiegel parallel stehen, wenn also der Index des den schwarzen Spiegel tragenden Ringes bei 0° steht, so reflectirt der obere Spiegel die von unten her ihn treffenden Strahlen, das Gesichtsfeld ist also hell. Dreht man aber den Zerlegungsspiegel (so wird gewöhnlich der obere Spiegel genannt) aus dieser Lage heraus, so nimmt die Intensität des durch ihn reflectirten Lichtes mehr und mehr ab und wird Null, wenn der Index bei 90° steht. In dieser Stellung reflectirt der schwarze Spiegel die von unten her ihn treffenden Strahlen nicht mehr, das Gesichtsfeld erscheint dunkel. Dreht man noch weiter, so wird es allmälig wieder heller, und wenn der Index bei 180° steht, ist die Lichtstärke wieder derjenigen gleich, die bei 0° beobachtet wurde. Das Licht nimmt jedoch wieder ab, wenn man noch über 180° hinaus dreht; das Gesichtsfeld wird zum zweiten Male dunkel, wenn der Index bei 270° steht.

Es versteht sich von selbst, daß während dieser ganzen Drehung die Richtung des schwarzen Spiegels gegen die Verticale unverändert bleiben muß. In allen Lagen macht der obere Spiegel einen Winkel von $35\frac{1}{2}^0$ mit der Verticalen.

Giebt man, ohne sonst etwas an dem Apparate zu ändern, dem unteren Spiegel eine andere Stellung gegen die einfallenden Strahlen, stellt man ihn z. B. so, daß er einen Winkel von 25° mit der Verticalen macht, so werden solche Strahlen zum oberen Spiegel des Apparates gelangen, die den unteren Polarisationsspiegel unter einem Winkel von 25° getroffen haben. Wiederholt man nun die oben beschriebenen Versuche, so findet man, daß das von dem oberen Spiegel zurückgeworfene Licht nie ganz Null wird. Wenn der obere Spiegel so gestellt ist, daß seine Reflexionsebene die des unteren kreuzt, wenn also der Index der oberen Theilung bei 90° steht, so wird er in dieser Stellung freilich weniger Licht reflectiren als in jeder anderen, doch wird immer noch ein Theil der von unten kommenden Strahlen reflectirt.

Es läßt sich daraus schließen, daß die unter einem Winkel von 25° vom unteren Polarisationsspiegel reflectirten Strahlen zwar zum Theil, aber doch nicht vollständig polarisirt sind. Je mehr der Winkel, welchen die auf den unteren Glasspiegel fallenden Strahlen mit der Ebene dieses Spiegels machen, von $35\frac{1}{2}^0$ abweicht, desto unvollständiger ist die Polarisation. Der Winkel, für welchen die vollständige Polarisation stattfindet, für Glas also der Winkel $35\frac{1}{2}^0$, wird der Polarisationswinkel genannt.

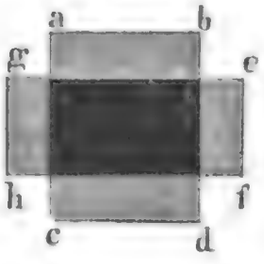
Metallflächen haben die Eigenschaft nicht, durch Reflexion das Licht zu polarisiren; man kann deshalb auch Spiegel, welche auf der Rückseite mit Zinn und Quecksilber belegt sind, nicht zu Polarisationsversuchen gebrauchen.

Nimmt man von dem Polarisationsapparate den Zerlegungsspiegel weg und ersetzt man ihn durch eine horizontal gehaltene Turmalinplatte, deren Oberflächen der krystallographischen Hauptaxe dieses Minerals parallel sind, so gewahrt man an dem durch die Platte hindurchgegangenen Lichte ganz ähnliche Erscheinungen wie diejenigen, welche man an dem vom Zerlegungsspiegel reflectirten Lichte beobachtete. Hat die Platte eine solche Stellung, daß ihre krystallographische Hauptaxe rechtwinkelig auf der Polarisationsebene der einfallenden Strahlen steht, so läßt sie die Strahlen so vollständig hindurch, als es die Färbung des Minerals erlaubt. Macht aber die Axe der Platte einen anderen Winkel mit der Polarisationsebene der einfallenden Strahlen, so ist das durchgehende Licht um so schwächer, je kleiner dieser Winkel wird. Fällt die Axe der Platte in die Polarisationsebene der einfallenden Strahlen, so ist die Intensität des durchgegangenen Lichtes ein Minimum, und falls die Platte dick genug ist, vollständig Null. Die Lage des Krystalls, bei welcher die Axe mit der Polarisationsebene der einfallenden Strahlen einen rechten Winkel bilden, entspricht dem Falle, daß der obere Spiegel dem unteren parallel ist, die zuletzt erwähnte Stellung des Krystalls aber dem Falle der gekreuzten Spiegel.

Aus den erwähnten Versuchen läßt sich schließen, daß, wenn gewöhnliches Licht auf eine solche Turmalinplatte fällt, es nach seinem Durchgange durch dieselbe polarisirt sein wird. Legt man demnach zwei parallel mit der Axe geschnittene Turmalinplatten so auf einander, daß ihre Axen parallel sind, so werden sie einfallendes gewöhnliches Licht ebenso gut durchlassen wie eine Platte, welche so dick ist wie beide zusammengenommen, wie Fig. 353 andeutet, wo *a b c d* die eine und *e f g h* die andere Platte bezeichnet. Die Schraffirung soll den krystallographischen Axen parallel sein. Dreht man aber die eine Platte in ihrer Ebene herum, ohne die Lage der zweiten zu ändern, so wird das durchgelassene Licht schwächer und schwächer, bis es endlich ganz verschwindet, wenn die Axen beider Platten einen rechten Winkel mit einander machen, wie dies Fig. 354 versinnlicht. Zwei solcher Platten bilden also einen kleinen Polarisationsapparat.

Fig. 353.

Fig. 354.



Nach der Vibrationstheorie erklärt man die Polarisation des Lichtes durch die Annahme, daß alle Vibrationen eines polarisirten Lichtstrahls in einer und derselben Ebene stattfinden, während die Vibrationen eines gewöhnlichen Lichtstrahles nach allen möglichen auf seine Richtung rechtwinkeligen Linien vor sich gehen.

Die Schwingungen eines durch Reflexion polarisirten Strahls sind mit

der Ebene des Spiegels parallel, wie dies Fig. 355 anschaulich machen soll. RS sei der Spiegel, ab der einfallende, bc der reflectirte und durch die Reflexion polarisirte Strahl, so ist die durch ab und bc gelegte Ebene, welche die

Fig. 355.

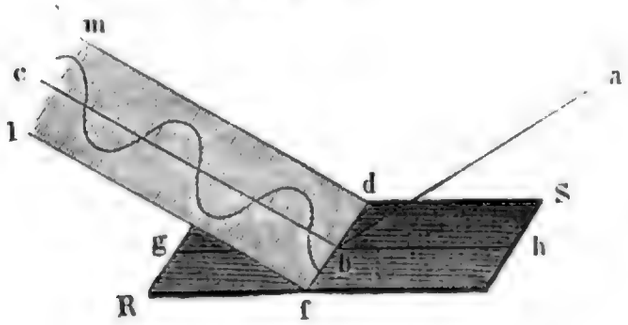
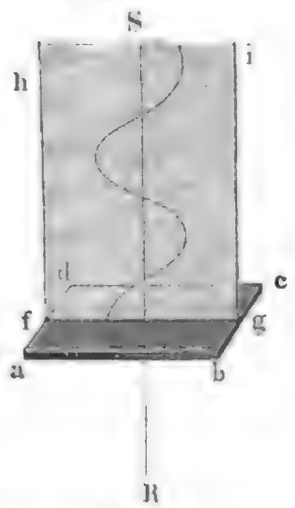


Fig. 356.



Ebene des Spiegels in gh schneidet, diejenige, welche die Polarisationsebene des Strahls bc genannt wird; $dflm$ aber ist die Schwingungsebene dieses Strahls; d. h. die Vibrationen, welche den polarisirten Strahl bc fortpflanzen, finden in der Ebene $fdlm$ Statt, und zwar sind sie mit fd parallel.

Wenn ein Lichtstrahl durch eine parallel mit der Axe geschnittene Turmalinplatte gegangen ist, so finden seine Schwingungen in der durch die Richtung des Strahls und die Axe des Krystalls gelegten Ebene Statt. In Fig. 356 sei $abcd$ eine Turmalinplatte; die Richtung ihrer Axe parallel mit ab und dc; ferner sei RS die Richtung des Strahls, so wird nach dem Durchgange durch die Platte $fghi$ die Schwingungsebene des Strahls sein.

Doppelte Brechung. Wenn man ein Kalkspathrhomboëder auf **165** ein mit einem schwarzen Punkte oder einer schwarzen Linie versehenes Stück Papier legt, so sieht man den Punkt oder die Linie doppelt.

Wenn man aus Kalkspath ein Prisma verfertigt, so sieht man durch dieses Prisma von jedem Gegenstande zwei Bilder.

Diese Versuche beweisen, daß jeder Lichtstrahl, welcher ein Kalkspathprisma trifft, in zwei gespalten wird, für welche die Brechungsexponenten nicht dieselben sind, daß also der Kalkspath die Eigenschaft der doppelten Brechung besitzt.

Untersucht man die beiden Bilder, welche man von irgend einem Gegenstande durch ein Kalkspathprisma sieht, mittelst einer Turmalinplatte, so findet man, daß beide Strahlen polarisirt sind, denn je nachdem man die Turmalinplatte dreht, verschwindet bald das eine, bald das andere Bild; die Ebene, in welcher die Schwingungen des einen Strahls stattfinden, ist rechtwinkelig zur Schwingungsebene des anderen Strahls.

Der Kalkspath ist nicht der einzige doppelt brechende Körper; dieselbe Eigenschaft kommt allen krystallisirten Substanzen zu, welche nicht zum regulären Krystallsysteme gehören.

In jedem doppelt brechenden Krystalle giebt es eine oder zwei Richtungen, nach welchen keine doppelte Brechung stattfindet; diese Richtungen führen den Namen der optischen Axen.

Eine Entwickelung der Gesetze der doppelten Brechung würde hier zu weit führen; wir wollen nur noch die Farbenerscheinungen kurz betrachten, welche doppelt brechende Krystallblättchen im polarisirten Lichte zeigen.

Nehmen wir an, die Spiegel des Polarisationsapparates seien gekreuzt, d. h. der obere Spiegel sei so gestellt, wie es Fig. 352 zeigt. Legt man nun ein dünnes Blättchen von krystallisirtem Gyps auf das mittlere Tischlein, so erscheint es im Allgemeinen gefärbt; dreht man das Tischlein in horizontaler Ebene um seine verticale Drehungsaxe, so wird die Färbung heller oder dunkler, ohne daß sich die Farbe der Art nach änderte. Bei fortgesetztem Drehen wird man es bald dahin bringen, daß die Farbe des Gypsblättchens ganz verschwindet, daß also das ganze Gesichtsfeld gerade so dunkel erscheint, als ob das Gypsblättchen gar nicht da wäre. Hat man das Gypsblättchen in diese Lage gebracht, so ritze man auf seiner Oberfläche eine Linie ein, deren Richtung parallel läuft mit der Linie, welche den Nullpunkt der Theilung mit dem Theilstrich 180^0 verbindet, also eine Linie, welche den Durchschnitt der Ebene des Gypsblättchens mit der Reflexionsebene des unteren Spiegels bezeichnet. Eine zweite Linie ritze man auf das Gypsblättchen rechtwinkelig zur ersteren.

Diese beiden Linien bezeichnen nun die Lage der Schwingungsebenen der beiden Strahlen, in welche ein Lichtstrahl getheilt wird, welcher das Gypsblättchen trifft. Wenn der einfallende Strahl rechtwinkelig auf die Ebene des Gypsblättchens auftrifft, so werden die beiden Strahlen zwar nicht der Richtung nach auseinandergehen; allein sie pflanzen sich mit ungleicher Geschwindigkeit durch den Krystall fort, weil die Elasticität des Aethers nach der Richtung der beiden Schwingungsebenen nicht gleich ist.

Dreht man das Gypsblättchen aus der Lage heraus, in welcher es ganz dunkel erscheint, so wird es heller und heller, und seine Farbe erhält den größten Glanz, wenn die beiden Schwingungsebenen des Gypsblättchens einen Winkel von 45^0 mit der Schwingungsebene des unteren Spiegels machen.

Bleibt das Blättchen nun in dieser Lage, während man den oberen Spiegel dreht, so wird die Farbe des Blättchens blasser und blasser (nicht dunkler), bis es endlich ganz farblos erscheint, wenn die Reflexionsebene des oberen Spiegels 45^0 mit der des unteren macht, wenn also die Reflexionsebene des oberen Spiegels mit der einen Schwingungsebene des Gypsblättchens zusammenfällt. Dreht man den oberen Spiegel noch weiter, so geht die Farbe des Gypsblättchens in die complementäre von derjenigen über, die man bis dahin beobachtete, und diese complementäre Farbe wird am lebhaftesten, wenn die Reflexionsebene des oberen Spiegels mit der des unteren zusammenfällt.

Die Erklärung dieser Erscheinung kann hier nur angedeutet, aber nicht ausgeführt werden.

Der von dem unteren Polarisationsspiegel kommende Strahl wird bei seinem Eintritt in das Gypsblättchen in zwei gespalten, die zwar der Richtung

nach nicht auseinandertreten, aber doch den Krystall mit ungleicher Geschwindigkeit durchlaufen, so daß der eine dem anderen voraneilt. Wenn nun diese beiden Strahlen durch den Zerlegungsspiegel auf eine und dieselbe Schwingungsebene reducirt werden, so können sie interferiren. Die Farben entstehen also hier nach ähnlichen Gesetzen, wie die Farben der Newton'schen Ringe, die Farbe des Blättchens hängt also auch natürlich von seiner Dicke ab.

Dünne Blättchen anderer doppelt brechender Körper bringen ähnliche Farbenerscheinungen hervor.

Auch in dickeren Platten doppelt brechender Krystalle beobachtet man im polarisirten Lichte Farbenerscheinungen, wenn ihre Oberflächen rechtwinkelig auf den optischen Axen stehen.

Eine ganz eigenthümliche Erscheinung, welche sich bei keinem anderen Krystalle wiederfindet, bietet der Bergkrystall dar. Legt man auf das Tischlein des Polarisationsapparates eine senkrecht zur Axe geschnittene Quarzplatte, so erscheint ihr Bild in dem oberen Spiegel lebhaft gefärbt, und zwar ändert sich die Farbe, wenn der Zerlegungsspiegel gedreht wird, während eine Drehung der Quarzplatte keine Aenderung in der Farbe hervorbringt. Wie man auch den Zerlegungsspiegel drehen mag, so erscheint doch die Platte niemals ganz farblos hell oder ganz dunkel, wie es bei Gypsblättchen beobachtet wird.

Um diese Erscheinung in ihrer möglichsten Einfachheit kennen zu lernen, muß man einfarbiges Licht anwenden, was am einfachsten dadurch bewerkstelligt wird, daß man durch ein rothes Glas sieht.

Erscheint nun die Quarzplatte zwischen den gekreuzten Spiegeln des Polarisationsapparates, durch das rothe Glas gesehen, hell, so wird man es durch Drehen des Zerlegungsspiegels nach der rechten oder nach der linken Seite bald dahin bringen, daß das Gesichtsfeld ganz so dunkel ist, wie es zwischen gekreuzten Spiegeln ohne die Quarzplatte sein würde, kurz, die Polarisationsebene der von unten kommenden Strahlen erscheint durch die Quarzplatte nach der rechten oder linken Seite gedreht.

Die Größe der Drehung hängt von der Dicke der Platte ab und ist dieser proportional. Eine Quarzplatte von 1 Millimeter Dicke dreht die Polarisationsebene der rothen Strahlen um 19°.

Für die brechbareren Strahlen ist die Drehung der Polarisationsebene durch dieselbe Quarzplatte größer, und zwar: für Gelb 23°, für Grün 28°, für Blau 32°, für Violet 41°. Aus der ungleichen Drehung, welche die Polarisationsebene verschiedener Strahlen in derselben Quarzplatte erleidet, erklärt sich auch, weshalb sie bei Anwendung von weißem Lichte für keine Stellung des Zerlegungsspiegels ganz farblos hell oder ganz dunkel erscheint.

Je nachdem eine Quarzplatte die Polarisationsebene nach der rechten oder nach der linken Seite dreht, nennt man sie rechts oder links drehend.

Diese eigenthümliche Erscheinung, welche senkrecht auf die Axe geschliffene Quarzplatten zeigen, wird mit dem Namen der Circularpolarisation bezeichnet.

Auch bei Flüssigkeiten hat man die Erscheinung der Circularpolarisation nachgewiesen.

Um die Circularpolarisation in Flüssigkeiten zu beobachten, gießt man sie in eine oben offene, am Boden durch eine ebene Glasplatte geschlossene Röhre von 6 bis 10 Zoll Höhe und stellt diese auf das Tischlein des Polarisationsapparates.

Rechts drehende Flüssigkeiten sind unter anderen Citronenöl, Zuckersyrup, Auflösung von Kampher in Weingeist u. s. w. Links drehende sind dagegen Terpentinöl, Kirschlorbeerwasser u. s. w.

Die Drehung der Polarisationsebene durch Flüssigkeiten ist ungleich geringer als beim Bergkrystall; um dieselbe Größe der Drehung hervorzubringen wie eine Quarzplatte, muß eine Säule von Citronenöl 34-, eine Säule von Terpentinöl 68mal so hoch sein wie die Quarzplatte; man muß deshalb schon ziemlich lange Säulen der Flüssigkeiten anwenden, wenn die Erscheinungen der Circularpolarisation recht deutlich hervortreten sollen.

Man hat besondere Apparate zur Untersuchung der Circularpolarisation in Flüssigkeiten construirt, bei welchen die Röhre horizontal liegt; natürlich ist sie in diesem Falle an beiden Enden durch ebene Glasplatten geschlossen. Die Polarisationsspiegel sind durch sogenannte Nicol'sche Prismen ersetzt; es sind dies Kalkspathprismen, welche durch eine besondere Construction nur ein polarisirtes Bild geben, also nur Licht durchlassen, welches in einer bestimmten Schwingungsebene vibrirt. Ein Nicol'sches Prisma wirkt also ebenso wie ein Polarisationsspiegel oder wie eine Turmalinplatte.

Auch eine praktische Anwendung hat man von der Circularpolarisation gemacht; eine Säule von Zuckersyrup von bestimmter Länge wird nämlich die Polarisationsebene um so stärker drehen, je concentrirter die Lösung ist; die Drehung der Polarisationsebene ist also ein Mittel, den Concentrationsgrad einer Zuckerlösung zu erkennen. Die auf die Circularpolarisation sich gründenden Apparate zur Bestimmung des Zuckergehaltes einer Lösung werden Saccharometer genannt.

Siebentes Capitel.

Chemische Wirkungen des Lichtes.

Einfluss des Lichtes auf chemische Verbindungen und Zersetzungen. 166
Bei gewöhnlicher Temperatur verbinden sich im Dunkeln Chlorgas und Wasserstoffgas nicht mit einander; sobald man aber dem Lichte den Zutritt gestattet, geht die Verbindung vor sich, und zwar langsam im Tageslichte, unter Explosion im Sonnenlichte. — Das in Wasser absorbirte Chlorgas entzieht nur unter Einwirkung des Lichtes dem Wasser allmälig den Wasserstoff; Phosphor, welcher in Wasser aufbewahrt wird, verwandelt sich im Sonnenlichte in rothes Phosphoroxyd. — Concentrirte Salpetersäure zersetzt sich am Lichte schon bei gewöhnlicher Temperatur zum Theil in Sauerstoff und Untersalpetersäure; das weiße Chlorsilber wird durch das Licht geschwärzt, was eine Folge seiner Zersetzung ist, indem das Chlor entweicht und das Silber metallisch (reducirt) in fein vertheiltem Zustande zurückbleibt. Es sind hier nur einige der auffallendsten Beispiele angeführt, um den Einfluß des Lichtes auf chemische Verbindungen und Zersetzungen nachzuweisen; es finden sich solcher Beispiele noch viele in allen Lehrbüchern der Chemie.

Sehr auffallend ist der Einfluß des Lichtes auf die Zersetzung organischer Substanzen; es befördert nämlich die Vereinigung des Sauerstoffs der Atmosphäre mit dem Kohlenstoff und dem Wasserstoff der organischen Körper; daher kommt denn auch das Bleichen vegetabilischer Farbestoffe im Lichte, namentlich im Sonnenlichte, die gelbe Färbung des Terpentinöls, die grüne Färbung des gelben Guajaks, wenn eine weingeistige Lösung desselben, auf Papier gestrichen, dem Lichte ausgesetzt wird u. s. w.

Zum Gedeihen der lebenden Pflanzen ist das Licht durchaus nöthig, im Dunkeln ist eine kräftige Entwickelung derselben unmöglich; sie erhalten bald ein verkümmertes Ansehen, Blätter und Blüthen bleiben blaß. Pflanzen, die in Zimmern gezogen werden, wachsen bekanntlich immer nach den Fenstern hin.

Die grünen Theile der Pflanzen absorbiren Kohlensäure aus der Luft; diese Kohlensäure wird zerlegt, der Kohlenstoff bleibt als Bestandtheil der Pflanze zurück, während der Sauerstoff wieder in die Atmosphäre ausgehaucht wird. Diese Zersetzung der Kohlensäure und das Aushauchen von Sauerstoff in die

Luft findet aber nur unter dem Einfluſſe des Lichtes Statt. Man kann ſich leicht davon überzeugen, wenn man einen friſchen grünen Zweig unter eine mit kohlenſäurehaltigem Waſſer gefüllte Glasglocke bringt; im Lichte entwickeln ſich zahlreiche Gasblaſen an den Blättern, die in den oberen Theil der Glasglocke aufſteigen; das hier geſammelte Gas iſt Sauerſtoffgas. Dieſe Gasentwickelung findet im Dunkeln nicht Statt, ſie hört auf, ſobald dem Waſſer alle freie Kohlenſäure entzogen wird.

Im Allgemeinen iſt die chemiſche Wirkung der blauen und violetten Strahlen ſtärker als die der rothen und gelben.

167 **Photographie.** Schon Wedgwood kam auf den Gedanken, die Schwärzung des Chlorſilbers zu benutzen, um die Bilder der camera obscura zu fixiren, und in der That ſtellte Davy mittelſt eines Sonnenmikroſkopes die Bilder kleiner Gegenſtände auf Chlorſilberpapier dar; ſie wurden aber bald durch die fortdauernde Einwirkung des Lichtes auf das Chlorſilber wieder vernichtet. Niepce brachte es in der Kunſt, ſolche Lichtbilder zu fixiren, ſchon weiter; allein erſt Daguerre fand nach vielen mühſamen Verſuchen ein Verfahren, welches in dieſer Hinſicht faſt Unglaubliches leiſtet.

Das Material, auf welchem die Daguerre'ſchen Lichtbilder dargeſtellt werden, iſt eine plattirte, d. h. eine mit einer dünnen Silberſchicht überzogene Kupferplatte. Nachdem ſie gehörig gereinigt worden iſt, wird ſie auf eine viereckige Porzellanſchale gelegt, welche eine wäſſerige Löſung von Chlorjod enthält, und hier ſo lange den Dämpfen des Jods ausgeſetzt, bis ſich eine goldgelbe oder violette Schicht von Jodſilber auf der Platte gebildet hat. Nun wird die Platte, vor jeder fremden Einwirkung des Lichtes geſchützt, genau an der Stelle in die camera obscura eingeſetzt, an welcher ein ſcharfes Bild des abzubildenden Gegenſtandes entſteht. Nach einiger Zeit, deren Dauer von mannigfachen Umſtänden abhängt, aber noch ehe man die Spur eines Bildes wahrnehmen kann, wird die Platte aus der camera obscura weggenommen und in einen Kaſten gebracht, in welchem Queckſilberdämpfe entwickelt werden. Unter dem Einfluß der Queckſilberdämpfe wird das Bild alsbald ſichtbar. Sobald das Bild hinlänglich ausgeprägt iſt, wird die Platte in eine Löſung von unterſchwefligſaurem Natron gelegt, wodurch der Ueberzug von Jodſilber aufgelöſt und ſo eine fernere Einwirkung des Lichtes unmöglich gemacht wird.

Dieſe letztere Operation wird mit dem Namen des Fixirens bezeichnet. Es verſteht ſich von ſelbſt, daß die aus der camera obscura genommene Platte vor der Einwirkung des Tageslichtes geſchützt werden muß, bis das Bild fixirt iſt.

An den Stellen der jodirten Platte, auf welche die hellen Partien des Bildes der camera obscura gefallen waren, hat das Licht ſchon eine Einwirkung hervorgebracht, bevor dieſelbe dem Auge ſichtbar wird; diejenigen Stellen der Platte nämlich, welche dem Lichte am meiſten ausgeſetzt waren, haben die Eigenſchaft erhalten, Queckſilberdämpfe zu condenſiren; hier ſchlägt ſich alſo Queckſilber in unendlich feinen Perlchen nieder, während da, wo das Licht nicht eingewirkt hat, kein ſolcher Niederſchlag ſtattfindet. Nachdem nun an den letzteren

Stellen das völlig unveränderte Silberjodid abgewaſchen worden iſt, hat man an den hellen Partien des Bildes den feinen Queckſilberſtaub; da, wo das Licht nicht eingewirkt hat, den glänzenden Silberſpiegel; und wenn man die Platte ſo hält, daß der Spiegel ſolche Strahlen in das Auge reflectirt, welche von dunklen Gegenſtänden kommen, ſo bildet dieſer Silberſpiegel den dunklen Grund, auf welchem die hellen Partien durch das von den Queckſilberkügelchen nach allen Seiten hin zerſtreute Licht hervortreten.

Wenn man die Platte länger in der camera obscura läßt, ſo wird die Wirkung des Lichtes auf der jodirten Platte ohne Weiteres ſichtbar, indem das Jodſilber da geſchwärzt wird, wo das Licht am kräftigſten wirkt; das auf dieſe Weiſe entſtehende Bild iſt ein negatives, d. h. den hellen Stellen des Gegenſtandes entſprechen die dunklen Stellen des Bildes, und umgekehrt.

Wenn man die Platte ſo lange in der camera obscura gelaſſen hat, daß die Lichtwirkung auf derſelben ſichtbar wird, ſo iſt der zur Erzeugung eines Daguerre'ſchen Bildes geeignete Moment ſchon vorüber.

Eine andere von Talbot erfundene Methode, Lichtbilder herzuſtellen, welche vorzugsweiſe als Photographien bezeichnet werden, beſteht im Weſentlichen darin, daß zunächſt ein negatives Bild auf einer durchſichtigen oder durchſcheinenden Subſtanz hergeſtellt und von dieſem negativen Bild eine poſitive Copie auf Chlorſilber-Papier gemacht wird.

Das negative Bild wird in der Regel auf Glas dargeſtellt und zwar auf folgende Weiſe: Die Glasplatte wird mit Collodium (Auflöſung von Schießbaumwolle in Aether) übergoſſen, welchem eine beſtimmte Quantität Alkohol zugeſetzt und in welchem etwas Jodkalium aufgelöſt iſt. Nachdem die Collodiumſchicht gleichförmig über die Platte ausgebreitet iſt, läßt man das Ueberflüſſige ablaufen und taucht dann die Platte in ein ſogenanntes Silberbad, d. h. in eine wäſſerige Löſung von ſalpeterſaurem Silber.

Das ſalpeterſaure Silber durchdringt nun die Collodiumſchicht, und mit Jodkalium in Berührung kommend, bildet ſich Jodſilber, welches nebſt einem Ueberſchuß von ſalpeterſaurem Silber durch die ganze Collodiumſchicht gleichförmig vertheilt iſt und welches eigentlich die empfindliche Schicht bildet.

Die ſo präparirte Platte wird nun in die camera obscura geſetzt, aber ſchon nach kurzer Zeit herausgenommen, ehe noch durch das Licht direct eine Reduction des Jodſilbers bewirkt worden, ehe alſo noch das negative Bild ſichtbar geworden iſt. An den Stellen, wo das Licht eingewirkt hat, iſt aber nun das Jodſilber leichter reducirbar, als an ſolchen Stellen, wo das Licht nicht einwirkt, ſo daß, wenn man nun auf die aus der camera obscura herausgenommene Platte eine reducirende Flüſſigkeit gießt (wozu man gewöhnlich Pyrogallus-Säure wählt), an den dem Lichte ausgeſetzt geweſenen Stellen raſch eine Reduction des Silbers, alſo eine Schwärzung erfolgt, während an den nicht vom Lichte getroffenen Stellen die empfindliche Schicht unverändert bleibt.

Iſt auf dieſe Weiſe das negative Bild hervorgerufen, ſo müſſen die empfindlichen Subſtanzen aus der Collodiumſchicht entfernt werden, weil ſonſt nach kurzer Zeit unter Einwirkung des Tageslichtes die ganze Collodiumſchicht ſchwarz

werden würde. Es geſchieht dies dadurch, daß man die Platte mit einer Löſung von unterſchwefligſaurem Natron übergießt und dann mit Waſſer abwäſcht, wodurch, wie man ſagt, das Bild fixirt wird.

Zur Darſtellung der poſitiven Bilder wendet man ein mit Chlorſilber imprägnirtes Papier an, deſſen Bereitung man in der zweiten Auflage von Frick's phyſikaliſcher Technik beſchrieben findet, wo überhaupt das photographiſche Verfahren in möglichſter Kürze auseinandergeſetzt iſt.

Das negative Glasbild wird nun in einen vorn mit einer Glasplatte verſehenen Rahmen (den Copirrahmen) gelegt, darauf das Chlorſilberpapier und hinter dieſes dann ein ſchwarzes Tuch, und nachdem Alles durch eine von hinten her angepreßte Rückwand gehörig gegen Verſchiebung verſichert iſt, wird der Copirrahmen ſo den Sonnenſtrahlen ausgeſetzt, daß dieſelben durch die hellen Stellen des negativen Bildes hindurch auf das Chlorſilberpapier fallen und hier eine Schwärzung hervorbringen. Iſt auf dieſe Weiſe das poſitive Bild auf dem Papiere hergeſtellt, ſo muß, um das vollſtändige Schwarzwerden deſſelben zu verhindern, das noch unzerſetzte Chlorſilber aus dem Papiere ausgewaſchen werden, was dadurch geſchieht, daß man es eine Zeit lang in eine Auflöſung von unterſchwefligſaurem Natron und dann in reines Waſſer legt, wodurch dann nun auch das poſitive Bild fixirt iſt.

Wenn man das prismatiſche Farbenſpectrum photographirt oder daguerreotypirt, ſo ergiebt ſich, daß nicht alle Strahlen deſſelben gleich gut wirken; denn die rothen, gelben, grünen, ja auch die hellblauen bilden ſich wenigſtens bei dem gewöhnlichen Verfahren nicht ab. Von dem ganzen Farbenſpectrum erſcheint im photographiſchen Bilde nur der Theil, der von den dunkelblauen und violetten Strahlen getroffen worden war. Außerdem geht aber die chemiſche Wirkung noch weit über die violette Gränze des ſichtbaren Spectrums hinaus, indem im photographiſchen Bilde noch eine Verlängerung des Spectrums in gleicher Weiſe auftritt, wie wir ſie bei der Fluoreſcenz, Seite 266, kennen lernten. Die Strahlen alſo, welche vorzugsweiſe geeignet ſind, die Erſcheinungen der Fluoreſcenz hervorzubringen, ſind auch vorzugsweiſe die chemiſch wirkſamen.

Aus der geringen chemiſchen Wirkung, welche die rothen, gelben und grünen Strahlen hervorbringen, erklärt ſich auch, daß bei Daguerreotypen ſowohl wie bei Photographien rothe, gelbe und grüne Gegenſtände unverhältnißmäßig dunkel erſcheinen, wodurch oft die Haltung ſolcher Bilder beeinträchtigt wird.

Erstes Capitel.

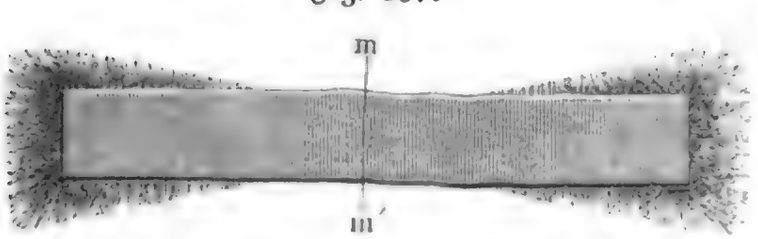
Vom Magnetismus.

Anziehung des Eisens durch Magnete. Man findet im 168
Schoße der Erde gewisse Eisenerze, die man Magneteisensteine nennt und welche öfters die Eigenschaft haben, Eisen anzuziehen, in welchem Falle sie den Namen der natürlichen Magnete führen. Das Magneteisen ist eine Verbindung von Eisenoxyd mit Eisenoxydul. Dem Eisen läßt sich dieselbe Eigenschaft vorübergehend, dem gehärteten Stahle läßt sie sich bleibend mittheilen; solche aus Stahl verfertigte Magnete heißen künstliche Magnete. Um die Gesetze des Magnetismus zu untersuchen, wendet man am besten künstliche Magnete an, weil man ihnen leicht eine zweckmäßige Form geben kann. Gewöhnlich haben die künstlichen Magnete die Gestalt von Stäben, Nadeln oder von Hufeisen.

Taucht man einen Magnetstab in Eisenfeilspäne, so wird man sehen, daß sie sich an denselben anhängen, daß sie aber nicht überall gleich gut hängen bleiben; in der Mitte des Stabes fallen sie gleich ab; hier scheint der Magnetstab gar keine anziehende Wirkung auf die Feilspäne auszuüben; diese neutrale Stelle wird die Mittellinie genannt. Von ihr nach den Enden, den Polen des Magnets hin, nimmt die anziehende Kraft zu, indem hier mehr und mehr Feilspäne hängen bleiben, wie dies Fig. 357 andeutet.

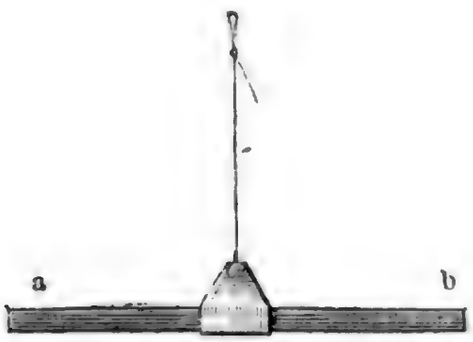
Man sollte auf den ersten Anblick meinen, daß, wenn man einen Magnet in der Mitte durchbricht (mit einem magnetisirten Stahldrahte kann man den Versuch leicht anstellen), alsdann jedes einzelne Stück kein vollständiger Magnet mehr sein, daß es nur an dem einen Ende Eisen anziehen könnte, am anderen aber nicht; der Versuch zeigt aber das Gegentheil: jedes Stück ist wieder ein vollständiger Magnet, welcher seine Mittellinie und seine Pole hat.

Fig. 357.



169 Magnetische Polarität. Die Fig. 358 stellt einen Magnetstab dar, welcher, in einer Kapsel von Papier oder Metall liegend, horizontal aufgehangen ist. Wenn man nun denselben Pol eines andern Magnets den Polen *a* und *b* nähert, so findet man, daß der eine, etwa *a*, angezogen, *b* aber abgestoßen wird. Man nennt nun die Pole *a* und *b* ungleichnamig, weil sie sich verschieden gegen denselben ihnen genäherten Pol verhalten. Wenn man nun den Magnet, den man in der Hand hält, umkehrt, um seinen anderen Pol dem aufgehängten zu nähern, so wird das Umgekehrte stattfinden: *a* wird abgestoßen und *b* angezogen. Die beiden Pole des bei diesem Versuche in der Hand gehaltenen Magnets sind also auch verschiedener Natur, sie sind auch ungleichnamig. Ebenso läßt sich zeigen, daß die beiden Pole eines jeden Magnets ungleichnamig sind.

Fig. 358.



Nähert man dem aufgehängten Magnete noch einander zwei verschiedene Magnete, so wird es leicht sein, an jedem derselben denjenigen Pol zu finden, welcher den Pol *a* des aufgehängten Magnets anzieht, *b* aber abstößt. Bezeichnen wir diesen Pol des ersten Magnets mit *n*, den Pol des zweiten Magnets aber, welcher eben so wirkt, mit *n'*, so sind *n* und *n'* die gleichnamigen Pole dieser beiden Magnete. Ebenso sind die beiden anderen Pole *m* und *m'* dieser beiden Magnete gleichnamig.

Hängt man jetzt den Magnet, dessen Pole wir mit *m* und *n* bezeichnet haben, so auf, daß er sich in einer horizontalen Ebene frei drehen kann, nähert man ihm den anderen, so findet man, daß sich die Pole *m* und *m'* abstoßen; dasselbe Verhalten findet zwischen den Polen *n* und *n'* Statt, die gleichnamigen Pole stoßen sich also ab. Dagegen ziehen sich die ungleichnamigen Pole *m* und *n'*, *n* und *m'* einander an.

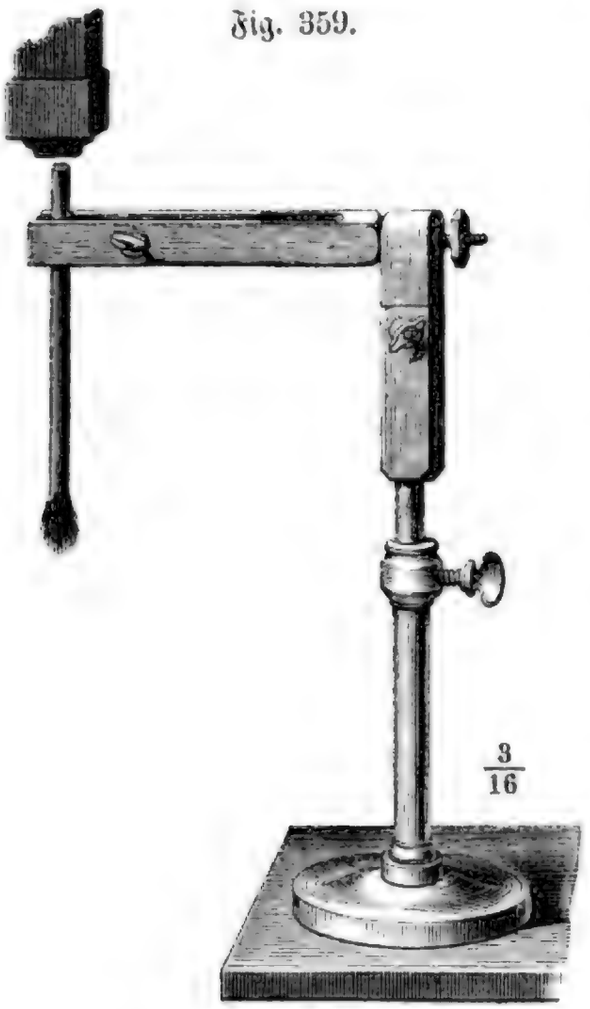
In den beiden Hälften also, in welche ein Magnet durch die Mittellinie zerlegt wird, wirken also zwei Kräfte, welche anfangs ganz gleichartig scheinen, weil sie auf gleiche Weise auf das Eisen wirken, die aber in der That zwei ganz entgegengesetzte Kräfte sind. Die Mittellinie ist also die Gränze zweier entgegengesetzter Kräfte, sie bildet den Uebergang von der einen zur anderen, und darin liegt auch die Ursache ihrer neutralen Beschaffenheit.

Aus Gründen, die wir weiter unten kennen lernen, nennt man den einen Pol des Magnets den Nordpol, den anderen den Südpol.

170 Magnetisirung des Eisens durch Magnete. Wenn ein ungefähr 2 Linien dickes Eisenstäbchen durch ein passendes Stativ so in verticaler Stellung festgehalten wird, wie es Fig. 359 zeigt, und man den Pol eines kräftigen Magnets darüber hält (ohne jedoch das Eisenstäbchen zu berühren), so wird das Eisenstäbchen selbst zum Magnet, wie sich daraus ergiebt, daß an seinem unteren Ende Eisenfeile, selbst

kleine Nägel hängen bleiben. Daß dies nicht etwa eine unmittelbare Fernewirkung des darüber gehaltenen Magnets iſt, geht daraus hervor, daß die Eiſenfeilſpäne an dem Stäbchen nicht hängen bleiben, wenn es nicht von Eiſen, wenn es etwa von Meſſing oder von Holz iſt.

Fig. 359.



Sobald man den magnetiſirenden Pol langſam entfernt, verliert ſich auch der Magnetismus des Eiſenſtäbchens wieder, die bis dahin getragenen Feilſpäne fallen herab.

Da alſo ein an einem Magnetpol angehängtes Eiſenſtäbchen ſelbſt zu einem Magnet wird, ſo kann es ein zweites tragen; an das zweite kann man ein drittes und ſo fort eine größere oder kleinere Kette anhängen, wie Fig. 360 erläutert.

Fig. 360.

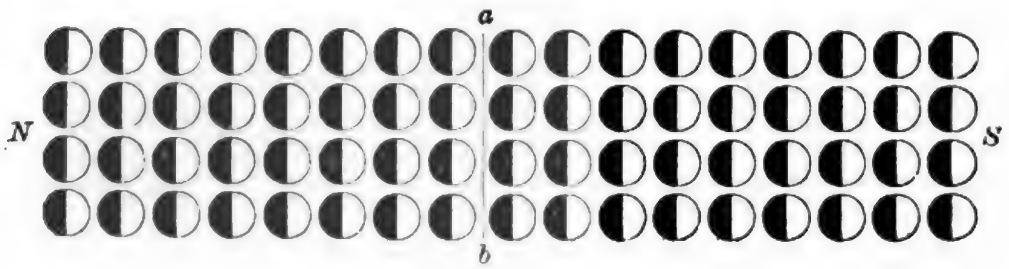
Magnetiſche Flüſſigkeiten. Um die verſchiedenen Erſcheinungen 171
des Magnetismus zu erklären, nimmt man an, daß es zwei verſchiedene unwägbare (imponderabele) magnetiſche Flüſſigkeiten gebe, welche in einer ſogleich näher zu betrachtenden Weiſe in einem Magnete vertheilt ſind; die Theilchen einer jeden Flüſſigkeit ſtoßen einander ab, ſie ziehen aber die Theilchen der entgegengeſetzten an.

Man denkt ſich nun, daß jedes Eiſentheilchen beide Flüſſigkeiten in gleicher Menge enthält, daß ſie aber ſchon geſchieden ſind, ſo daß jedes Eiſenmolekül ein- für allemal einen kleinen Magnet bildet. — So lange ein Eiſenſtab nicht magnetiſch iſt, liegen dieſe Molekularmagnete regellos durch einander, ſo daß etwa der Nordpol des einen nach derſelben Seite gerichtet iſt, wie der

Südpol des benachbarten, daß alſo, was die Wirkung in die Ferne betrifft, der eine Molekularmagnet die Wirkung des anderen aufhebt.

Sobald nun aber eine magnetiſirende Kraft auf den Eiſenſtab wirkt, ſo hat dieſe ein Beſtreben, die Molekularmagnetchen ſo zu ſtellen, daß in allen die gleichnamigen Pole nach der gleichen Seite gerichtet ſind. Nach dieſer Hypotheſe nun ſtellt Fig. 361 einen vollſtändig magnetiſirten Stahl- oder Eiſen-

Fig. 361.



ſtab dar. Durch dieſe Vorſtellungsweiſe iſt nun die Polarität des Magnets erklärt, und man begreift zugleich, wie es kommt, daß, wenn man einen Magnet in Theile zerbricht, alsdann jedes Stück wieder für ſich ein vollſtändiger Magnet ſein muß.

Wenn alſo ein Stück Eiſen durch den Einfluß eines Magnets magnetiſirt wird, ſo geht kein magnetiſches Fluidum vom Magnet auf das Eiſen über, ſondern die Nähe des Magnets veranlaßt bloß eine gleiche Richtung ſämmtlicher Molekularmagnete.

Das Eiſen behält nur ſo lange ſeine magnetiſchen Eigenſchaften, als die Nähe eines Magnets die Molekularmagnete gleich gerichtet erhält; ſobald der Magnet entfernt wird, kehren die Molekularmagnetchen wieder in ihre vorige regelloſe Lage, das Eiſen kehrt in ſeinen natürlichen Zuſtand zurück.

Der Stahl widerſteht dem magnetiſirenden Einfluſſe eines Magnets weit ſtärker als Eiſen, d. h. durch Annäherung eines Magnets wird ein Stahlſtück, namentlich wenn es etwas groß iſt, nicht gleich ſo ſtark magnetiſch wie ein Eiſenſtück. Wiederholt man den durch Fig. 359 dargeſtellten Verſuch, nachdem man das Eiſenſtäbchen durch ein gehärtetes Stahlſtäbchen von gleicher Größe erſetzt hat, ſo werden kaum einige Feilſpänchen an dem unteren Ende des Stahlſtäbchens hängen bleiben, während ſich unter gleichen Umſtänden an das Eiſenſtäbchen ein ganzes Bündel Eiſenfeile anhing. Um einen Stahlſtab einigermaßen ſtark zu magnetiſiren, muß man ihn längere Zeit mit dem Magnet in Berührung laſſen, oder er muß mit demſelben mehrmals in geeigneter Weiſe geſtrichen werden; wenn aber der Stahl einmal magnetiſch iſt, ſo verliert er dieſe Eigenſchaft auch ſo leicht nicht wieder; man kann alſo von Stahl bleibende Magnete machen, aber nicht von Eiſen.

Am ſchwerſten läßt ſich vollkommen gehärteter Stahl magnetiſiren; er verliert aber auch, wenn er einmal magnetiſch iſt, dieſe Eigenſchaft nicht leicht

wieder. Wenn man dem gehärteten Stahle durch Anlassen seine Härte mehr und mehr nimmt, so nähert er sich in seinem Verhalten gegen den Magnetismus mehr und mehr dem weichen Eisen.

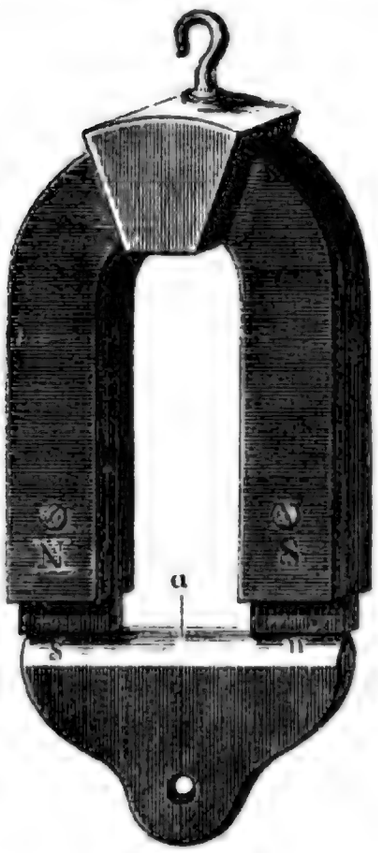
Weißglühendes Eisen wird von einem Magnet nicht mehr angezogen, wohl aber rothglühendes. Ein Stahlmagnet verliert durch Glühen seine magnetischen Eigenschaften vollständig.

Außer Eisen können auch Nickel und Kobalt magnetisch werden.

Verschiedene Formen künstlicher Magnete. Je nach den 172
verschiedenen Zwecken giebt man den Stahlmagneten verschiedene Formen, nämlich die von Magnetnadeln, welche in §. 174 näher besprochen werden, von Stäben oder endlich, wenn es sich um große Tragkraft handelt, von Hufeisen.

Fig. 362 stellt einen zusammengesetzten Hufeisenmagnet dar. Er besteht aus mehreren einfachen hufeisenförmig gebogenen magnetisirten Stahlplatten, welche mit ihren gleichnamigen Polen auf einander gelegt und durch Schrauben zusammengehalten werden. Eine an beide Pole angelegte Platte *sn* von weichem Eisen bildet den Anker, an welchen man mittelst einer Wagschale weitere Gewichte anhängen kann.

Fig. 362.



Die Tragkraft eines zusammengesetzten Magnets ist keineswegs der Summe der Tragkräfte der einzelnen Lamellen gleich, aus denen er zusammengesetzt ist, sondern sie ist weit geringer. Der Grund davon ist leicht einzusehen. Legt man zwei gleichgeformte Stahlmagnete mit ihren gleichnamigen Polen auf einander, so strebt jeder die Polarität des andern umzukehren, was nothwendig eine gegenseitige Schwächung der magnetischen Kraft zur Folge hat. So kommt es denn auch, daß die Tragkraft der Hufeisenmagnete in weit geringerem Verhältnisse wächst, als ihre Masse. Ein guter 4löthiger Hufeisenmagnet kann das 25fache, ein 100pfündiger kann nicht einmal das 3fache seines eigenen Gewichts tragen.

Dagegen ist die Gesammttragkraft eines Hufeisenmagnets weit größer als die Summe der Tragkräfte der einzelnen Pole. Während z. B. ein Hufeisenmagnet 12 Pfund trug, wenn der Anker mit beiden Polen in Berührung war, wie in Fig. 362, konnte der einzelne Pol nur 2 Pfund tragen.

Es läßt sich dies leicht erklären. Wenn der Anker, wie in Fig. 362, mit beiden Polen des Hufeisenmagnets in Berührung ist, so wird er natürlich weit kräftiger magnetisirt, als wenn er nur mit dem einen Pol in Berührung stände; denn der in *n* durch den Magnetpol *S* erzeugte Nordpol wird durch den magne-

tisirenden Einfluß verstärkt, welchen der Pol N auf den Anker ausübt. Ebenso wird in s ein Südpol erzeugt, nicht allein durch den Einfluß des Pols N, sondern auch durch den von S.

Durch die Vermittelung des Ankers wirkt also der Pol N auch verstärkend auf S und umgekehrt S auf N. Dadurch erklärt es sich auch, daß die Tragkraft von Hufeisenmagneten, welche durch einen Anker längere Zeit geschlossen bleiben, oft noch zunimmt, während umgekehrt ein Abreißen des Ankers meist eine Schwächung der magnetischen Kraft zur Folge hat.

Legt man an die beiden Polflächen eines natürlichen Magnets die Eisenplatten l und l' (die Flügel), Fig. 363 und 364, welche in den Füßen

Fig. 365.

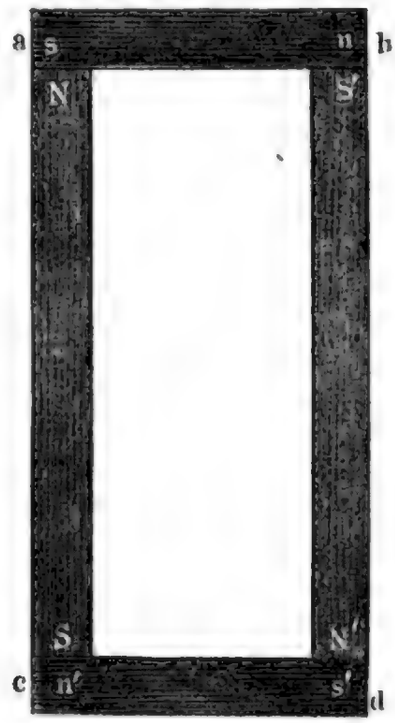


Fig. 363.

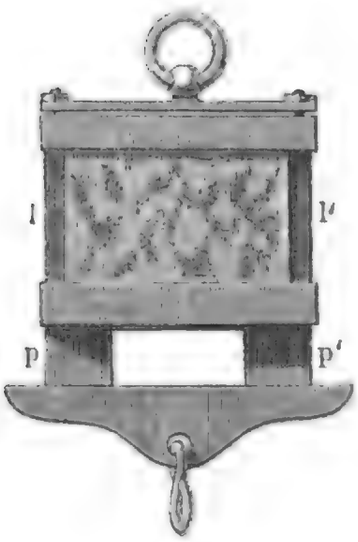
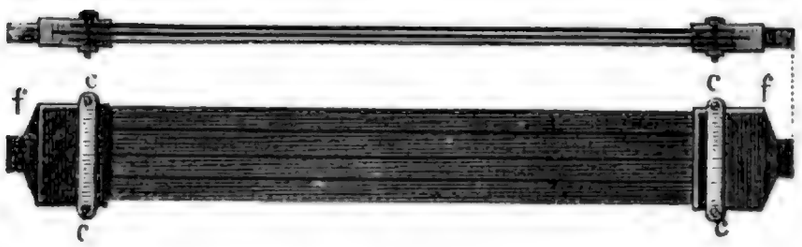


Fig. 364.

Fig. 366.



p und p' endigen, so werden in p und p' ungleichnamige magnetische Pole erzeugt, an welche man einen Anker anlegen kann, wie an die Pole eines Hufeisenmagnets. Eine solche an einem natürlichen oder auch an einem künstlichen Magnet angebrachte Eisenfassung wird als Armatur des Magnets bezeichnet.

Um den Magnetismus in Magnetstäben ungeschwächt zu erhalten, legt man sie in der Weise parallel neben einander (Fig. 365), daß der Nordpol des einen und der Südpol des anderen nach derselben Seite gerichtet sind, und fügt

alsdann die Eisenstücke ab und cd so an, daß dadurch ein geschlossenes Rechteck gebildet wird. Die Wirkung der Eisenplatten ab und cd ist hier ganz dieselbe wie die des Ankers beim Hufeisenmagnet.

Um mehrere einfache Magnetstäbe zu einem magnetischen Magazin zu verbinden, werden einerseits alle Nordpole, andererseits alle Südpole in einem eisernen Schuh befestigt, wie Fig. 366 zeigt.

Magnetisirung von Stahlnadeln und Stahlstäben. 173 Um einen Stahlstab zu magnetisiren, muß man ihn wiederholt an den Polen eines kräftigen Magnets streichen, und zwar ist es am zweckmäßigsten, die eine Hälfte des Stabes (oder den einen Schenkel der hufeisenförmigen Lamelle), deren Ende ein Nordpol werden soll, an dem Südpol, die andere Hälfte des Stabes aber (oder den anderen Schenkel der hufeisenförmigen Lamelle) am Nordpol des magnetisirenden Magnets zu streichen. Man verfährt dabei in der Weise, daß man den zu magnetisirenden Stab immer mit seiner Mitte auf den Magnetpol aufsetzt und das Stabende von demselben Pole abzieht.

Die magnetisirende Kraft des stärksten Stahlmagnets ist aber zu gering, um auf diese Weise etwas größere und gut gehärtete Stahlstäbe einigermaßen stark zu magnetisiren. Man hat deshalb verschiedene complicirtere Streichmethoden in Anwendung gebracht, welche jedoch durch die Erfindung der Elektromagnete entbehrlich wurden, da die Pole derselben eine hinlängliche magnetisirende Kraft besitzen, um nach dem oben angegebenen Verfahren auch große und wohlgehärtete Stahlstäbe kräftig zu magnetisiren.

Richtung der Magnete, Declination, Inclination. 174 Ein Magnetstab, welcher aufgehängt ist, wie Fig. 367 zeigt, oder eine Magnetnadel, wie sie Fig. 368 darstellt, in deren Mitte ein Hütchen von Achat oder

Fig. 367.

Fig. 368.

Stahl angebracht ist, welches auf einer Stahlspitze spielt, kann sich nur in horizontaler Ebene frei drehen, weil der Schwerpunkt der Vorrichtung unter dem Aufhängepunkte liegt. — Eine solche Nadel oder ein solcher Stab zeigt nun

ſtets ein Beſtreben, eine beſtimmte Lage anzunehmen, d. h. immer nach einem beſtimmten Punkte des Horizontes hinzuzeigen. Bringt man die Magnetnadel, in horizontaler Ebene ſie drehend, aus dieſer Gleichgewichtslage heraus, ſo wird ſie nach einigen Oſcillationen ſtets wieder in dieſelbe zurückkehren, wenn die ſtörende Urſache zu wirken aufgehört hat.

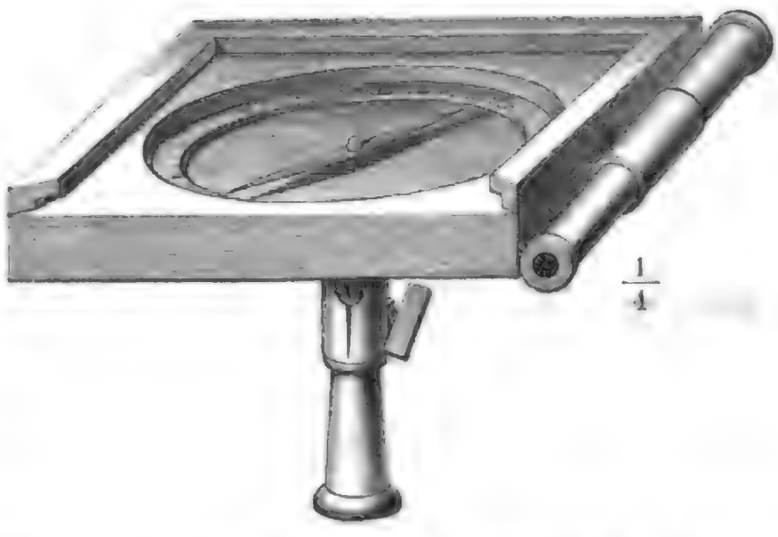
In unſeren Gegenden macht die Richtung der horizontalen Magnetnadel einen Winkel von 17 bis 18 Graden mit dem aſtronomiſchen Meridian, und zwar iſt es immer ein und derſelbe Pol, welcher das Nordende der Nadel bildet, und welcher deshalb der Nordpol genannt wird, während der andere Pol, welcher nach Süden (oder vielmehr nach Süd-Süd-Oſt) weiſet, den Namen des Südpols führt.

Daraus geht hervor, daß die ganze Erde eine magnetiſche Wirkung ausübt, und daß dieſe magnetiſche Erdkraft richtend auf die Magnetnadel wirkt.

Der magnetiſche Meridian iſt diejenige verticale Ebene, welche man ſich durch die Richtungslinie einer horizontalen Magnetnadel gelegt denken kann, oder auch nur der Durchſchnitt dieſer Ebene mit der Erdoberfläche. Der magnetiſche Meridian eines Ortes macht nun mit dem aſtronomiſchen Meridian einen Winkel, welchen man die Declination oder Abweichung nennt. Die Declination iſt öſtlich oder weſtlich, je nachdem die Magnetnadel nach der einen oder nach der anderen Seite des aſtronomiſchen Meridians abweicht. Wenn, Fig. 369, z. B. sn den aſtronomiſchen, ab aber den magnetiſchen Meridian eines Ortes darſtellt, ſo iſt hier die Declination eine weſtliche. Die weſtliche Declination betrug zu Göttingen im Januar 1837 18° 37′ 30,55″; wir werden bald ſehen, daß die Declination mit der Zeit ſich ändert. Es giebt Orte auf der Erde, wo die Richtung der Magnetnadel vollſtändig mit dem Meridian zuſammenfällt; an dieſen Orten iſt natürlich die Declination gleich Null.

Fig. 369.

Fig. 370.



Jeder Apparat, welcher dazu dient, die Declination zu meſſen, heißt eine Declinationsbuſſole.

Fig. 370 ſtellt eine ſolche Buſſole ziemlich einfacher Art vor. Die Spitze, auf welche die Nadel aufgeſetzt iſt, bildet den Mittelpunkt eines getheilten Hori-

zontalkreises, welcher um eine verticale Axe in seiner eigenen Ebene umgedreht werden kann. An der Seite des Gehäuses ist ein Fernrohr angebracht, dessen Axe mit derjenigen Linie parallel läuft, welche man sich vom Nullpunkte des getheilten Kreises über seinen Mittelpunkt zum Theilstriche 180^0 gezogen denken kann. Je nachdem man den Horizontalkreis in seiner Ebene umdreht, wird die Spitze der Magnetnadel an andere Theilstriche zu stehen kommen. Wenn man den Apparat so stellt, daß die Nadel gerade auf den Nullpunkt der Theilung zeigt, so ist die Axe des Fernrohres mit der Nadel parallel, sie fällt mit dem magnetischen Meridian zusammen; bei jeder anderen Stellung aber zeigt die Nadel auf denjenigen Theilstrich des Kreises, welcher angiebt, wie viel Grade der Winkel beträgt, welchen die Richtung der Nadel mit der Axe des Fernrohres (oder vielmehr mit der Horizontalprojection der Fernrohraxe) macht; wenn man also das Fernrohr genau in den astronomischen Meridian bringt, so kann man auf dem Theilkreise ablesen, wie groß der Winkel zwischen dem magnetischen Meridian und dem astronomischen ist.

Dieses Instrument kann nun überhaupt als Winkelmeßinstrument dienen, weil man mit Hülfe desselben jederzeit den Winkel bestimmen kann, welchen die Visirlinie des Fernrohres (oder vielmehr ihre Horizontalprojection) mit dem magnetischen Meridiane macht.

Die Declinationsbussole, deren sich die Seefahrer bedienen, ist unter dem Namen des Compasses bekannt.

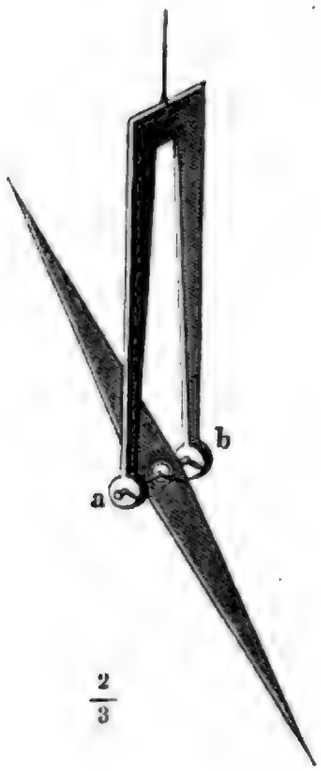
Die Magnetnadeln, welche wir bisher betrachtet haben, sind in einer Weise aufgehängt, daß sie sich nur in einer horizontalen Ebene, also um eine verticale Axe drehen können. Sowohl bei der in Fig. 367, als auch bei der in Fig. 368 dargestellten Aufhängung ist die horizontale Stellung dadurch gesichert, daß der Schwerpunkt der Nadel unter dem Aufhängepunkte liegt. Sobald man aber eine Magnetnadel in ihrem Schwerpunkte selbst aufhängt, so bleibt sie nicht mehr wagerecht stehen, sondern sie macht einen Winkel mit der Horizontalen, welcher den Namen der Inclination führt.

Der Fig. 371 (a. f. S.) abgebildete Apparat ist sehr geeignet, die Inclination der Magnetnadel zu zeigen. In einem Rahmen von Messing, welcher an einem Faden aufgehängt ist, befindet sich eine sehr leicht bewegliche horizontale Axe $a\,b$, welche durch den Schwerpunkt einer Magnetnadel geht. Man sieht, daß eine so aufgehängte Magnetnadel sich um eine verticale und um eine horizontale Axe drehen und also dem richtenden Einflusse der Erde ganz frei folgen kann. Die Nadel stellt sich nun so, daß ihre Längenaxe in den magnetischen Meridian fällt; das nach Norden gekehrte Ende der Nadel aber senkt sich, die Längenaxe der Nadel macht also einen Winkel mit der Horizontalen, der in unseren Gegenden ungefähr 70^0 beträgt.

Wenn die Inclinationsnadel in einem getheilten Verticalkreise, dessen Ebene mit der Umdrehungsebene der Nadel zusammenfällt, angebracht ist, wie Fig. 372 (a. f. S.), so kann man auf diesem Kreise die Größe der Inclination ablesen, wenn man dafür sorgt, daß die Ebene des Verticalkreises genau in den magnetischen Meridian fällt.

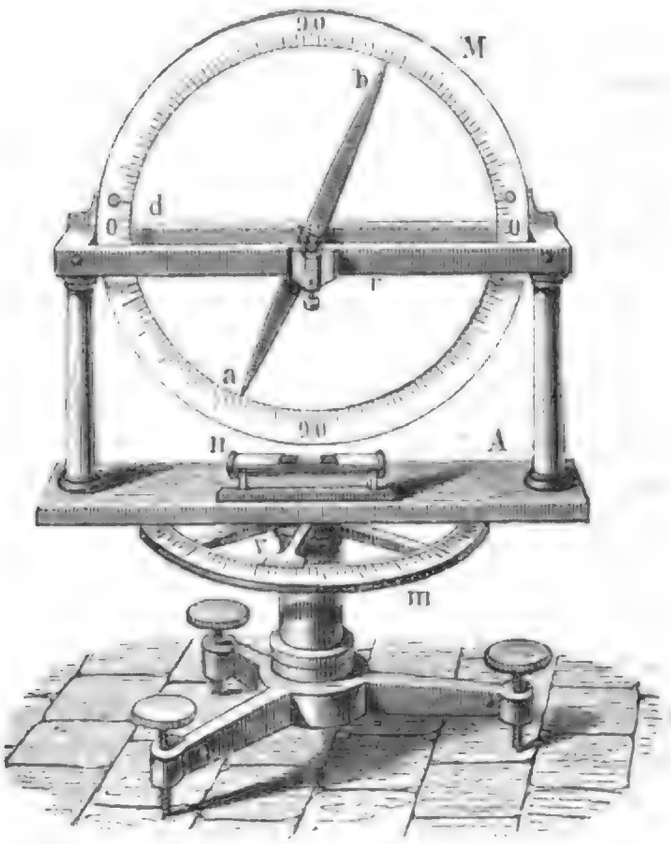
Solche Apparate, welche dazu dienen, die Inclination zu messen, heißen Inclinatorien oder Inclinationsbussolen.

Fig. 371.



$\frac{2}{3}$

Fig. 372.



Die Größe der Inclination nimmt im Allgemeinen zu, je mehr man nach Norden kommt; in der Nähe der Erdpole nimmt die Inclinationsnadel eine fast senkrechte Stellung an; so beobachtete z. B. Capitän Philipps im Jahre 1773 unter 79° 44′ nördlicher Breite eine Inclination von 82° 9′, und Parry unter 70° 47′ eine Inclination von 82° 43′. Capitän Roß endlich hat den magnetischen Nordpol der Erde selbst erreicht. Unter 70° 5′ nördlicher Breite und 263° 14′ östlich von Greenwich fand er die Declination 90°. Die Neigung der Magnetnadel ist in hohen Breiten so bedeutend, daß der Compaß für die Seefahrer seine Brauchbarkeit verliert, wie durch die letzten Nordpolexpeditionen bewiesen ist.

Je weiter man hingegen nach Süden geht, desto mehr nimmt die Inclination ab, und in der Aequatorialzone kommt man zu einem Punkte, wo die Inclination Null ist, wo also die Inclinationsnadel vollkommen wagerecht steht. Geht man noch weiter nach Süden, so beobachtet man abermals eine Inclination, aber eine entgegengesetzte; es ist nun das nach Süden gekehrte Ende, welches sich tiefer stellt. Diese Inclination nimmt nun ebenfalls mit der südlichen Breite zu. In der Nähe des Südpols der Erde giebt es demnach einen zweiten Punkt, an welchem sich die Inclinationsnadel völlig vertical stellt, und dies ist der magnetische Südpol der Erde.

In welcher geographischen Länge man auch die Aequatorialzone passiren mag, so wird man doch immer einen Punkt finden, wo die Inclinationsnadel

gerecht steht. Diese Orte ohne Inclination bilden um die ganze Erde e Curve, welche man den magnetischen Aequator nennt.

Der magnetische Aequator fällt nicht mit dem Erdäquator zusammen und det auch keinen regelmäßigen größten Kreis der Erdkugel.

Die Totalwirkung, welche die Erde auf eine Magnetnadel ausübt, ist nur e richtende, aber keine anziehende; denn wenn Letzteres der Fall wäre, so ißte eine Stahlnadel nach der Magnetisirung mehr wiegen als vorher. Wenn n eine Magnetnadel auf einen Kork legt, welcher auf dem Wasser schwimmt, stellt sie sich in den magnetischen Meridian; sie zeigt aber kein Bestreben, ch Norden zu schwimmen, wie man vielleicht hätte erwarten können.

Nähert man der schwimmenden Nadel einen Magnetstab, so findet entweder e Anziehung oder eine Abstoßung Statt, je nachdem man der Nadel den en oder den anderen Pol des Magnets nähert; die Nadel schwimmt dem Mag= entweder zu oder von ihm weg. Warum schwimmt nun die Nadel nicht n magnetischen Nordpole zu, wenn sich doch die Erde nicht anders als ein ßer Magnet verhält? Der Grund ist folgender. Die Kraft der magneti= en Anziehung nimmt mit der Entfernung ab, wie wir bald sehen werden. enn man nun einen Magnetstab der schwimmenden Nadel nähert, so sind die den Pole der Nadel nicht gleich weit vom genäherten Pole des Magnets entfernt, glich muß entweder die abstoßende oder die anziehende Kraft überwiegen und thin auch eine Fortbewegung erfolgen. Der magnetische Nordpol der Erde aber nun von der schwimmenden Nadel so außerordentlich weit entfernt, daß Länge der Nadel gegen diese Entfernung eine völlig verschwindende Größe ; der Nordpol der Nadel wird also ebenso stark angezogen, als der Südpol gestoßen wird.

Variationen der Declination und Inclination. Die De= 175
nation ist ebenso wenig wie die Inclination unveränderlich; im Jahre 1580 r die Declination zu Paris 11° 30′ östlich; sie nahm nun ab und war im hre 1663 gleich Null; von dieser Zeit an wurde die Declination westlich d wuchs beständig bis zum Jahre 1814, wo sie ihr westliches Maximum von ° 34′ erreichte, um alsdann wieder kleiner zu werden.

Die Inclination der Magnetnadel hat zu Paris vom Jahre 1671, wo sie gefähr 75° betrug, fortwährend abgenommen, so daß sie gegenwärtig daselbst gefähr $67\frac{1}{2}$° beträgt.

Diese ganz allmäligen Veränderungen der Declination und Inclination, lche die Folge einer langsamen Ortsveränderung der magnetischen Pole der de sind, nennt man secular Variationen; es sind dies jedoch nicht die zigen Veränderungen, welchen die Richtung der Declinationsnadel unterworfen ist.

Wenn man die Declinationsnadel aufmerksam beobachtet, so findet man, ß sie fortwährend kleine Oscillationen macht, indem sie sich bald östlich, bald stlich von ihrer mittleren Lage entfernt; diese Schwankungen sind bald mehr elmäßig und periodisch, bald mehr zufällig und plötzlich. Erstere sind die glichen Variationen, letztere nennt man Störungen.

Im Allgemeinen bewegt sich das Nordende der Nadel vom Sonnenaufgange an nach Westen und beginnt dann von 5 Uhr Abends an seinen Rückweg.

Die Amplitude der täglichen Variationen, d. h. der Winkel zwischen dem östlichsten und westlichsten Stande, ist veränderlich; sie ist manchmal nur 5 bis 6 Minuten, manchmal aber beträgt sie auch fast $^1/_2$ Grad.

Auch die Inclination ist solchen täglichen Variationen unterworfen.

Sehr starke unregelmäßige Schwankungen, die oft mehr als einen Grad betragen, macht die Declinationsnadel, wenn sich ein Nordlicht am Himmel zeigt.

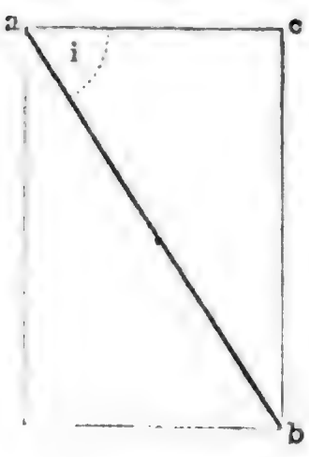
Erdbeben und vulcanische Eruptionen scheinen auch auf die Magnetnadel zu wirken, und manchmal haben sie eine bleibende Veränderung ihrer Lage zur Folge.

176 **Intensität des Erdmagnetismus.** Wenn eine Inclinationsnadel aus ihrer Gleichgewichtslage herausgebracht wird, so strebt der Erdmagnetismus, sie wieder in dieselbe zurückzuführen; wenn man aber die Nadel ganz und gar sich selbst überläßt, so kommt sie erst nach einer Reihe von Schwingungen zur Ruhe. Die Zeit, welche zu einer jeden dieser Schwingungen nöthig ist, hängt ab von der Masse der Nadel, von der Stärke des in ihr entwickelten Magnetismus und von der Stärke des Erdmagnetismus. Eine und dieselbe Nadel wird also schneller oscilliren, wenn der Erdmagnetismus stärker auf sie einwirkt.

So hat man denn ein Mittel, die Stärke des Erdmagnetismus an verschiedenen Orten der Erde mit einander zu vergleichen; man hat nur zu beobachten, wie viel Oscillationen in einer bestimmten Zeit, etwa in 5 Minuten, eine und dieselbe Inclinationsnadel an verschiedenen Orten macht, und kann so nach dieser Beobachtung leicht berechnen, wie sich die Stärke des Erdmagnetismus an dem einen Orte zu der am anderen Orte verhält; denn die Intensitäten des Erdmagnetismus verhalten sich wie die Quadrate der in gleichen Zeiten gemachten Schwingungszahlen.

Die Beobachtung der Oscillationen einer Inclinationsnadel kann nie sehr genaue Resultate geben, und deshalb sind die Schwingungsversuche mit horizontalen Nadeln oder Stäben vorzuziehen. Die Kraft, welche die Declinationsnadel oscilliren macht, ist nur ein Theil und zwar die horizontale Seitenkraft der ganzen, in der Richtung der Inclinationsnadel wirkenden magnetischen Erdkraft; wenn aber die horizontale Intensität und die Größe der Inclination bekannt ist, so kann man leicht die totale Intensität berechnen.

Fig. 373.



Es stelle nämlich ab die Größe und Richtung der ganzen magnetischen Erdkraft dar, die wir mit I bezeichnen wollen und welche einen Winkel i mit der Horizontalen macht, so ist ihre horizontale Seitenkraft ac, welche wir mit I_h bezeichnen wollen:

$$I_h = I \cos. i.$$

Wenn $i = o$, so fällt die Richtung der erdmagnetischen Kraft in eine horizontale Ebene; es ist dies bekanntlich auf dem magnetischen Aequator der

all; hier ist die horizontale Intensität der ganzen Intensität gleich. Ueber-
aupt wird der horizontale Antheil der magnetischen Erdkraft um so größer, je
ehr man sich dem magnetischen Aequator nähert; an den magnetischen Polen
:r Erde, wo die Inclinationsnadel vertical steht, ist der horizontale Antheil der
agnetischen Erdkraft gleich Null.

Wenn man die Resultate der Intensitätsbestimmungen zusammenstellt,
elche an verschiedenen Orten der Erdoberfläche gemacht worden sind, so ergiebt
ch das allgemeine Resultat, daß die totale Intensität in der Nähe des
agnetischen Aequators am kleinsten ist, und daß sie von da gegen die Pole hin
ächst. In der Nähe der magnetischen Pole ist sie ungefähr 1,5mal so groß
ls am Aequator. An einem und demselben Orte ist aber die Intensität auch
eränderlich und wie die Declination und Inclination täglichen Variationen
nterworfen.

Einfluss des Erdmagnetismus auf das Eisen. Wenn man 177
ine Stange von weichem Eisen, welche 2 bis 3 Fuß lang ist, in die Richtung
er Inclinationsnadel hält, so wird sie durch den Einfluß des Erdmagnetismus
lbst magnetisch, und zwar wird ihr unteres Ende ein Nordpol, ihr oberes ein
Südpol, wie man leicht sehen kann, wenn man eine kleine empfindliche Magnet-
adel bald dem oberen, bald dem unteren Ende der Stange nähert. Kehrt
an den Stab um, so sind sogleich auch seine Pole umgekehrt, das untere Ende
st wieder ein Nordpol, das obere wieder ein Südpol.

Dieselbe Wirkung, nur etwas schwächer, bringt auch der Erdmagnetismus
uf eine vertical hängende Eisenstange hervor, überhaupt auf jede Eisenstange,
elchen Winkel sie auch mit der Richtung der Inclinationsnadel macht; nur ist
ie Wirkung um so geringer, je mehr sie sich von der Richtung der Inclinations-
adel entfernt. Denselben Einfluß äußert der Erdmagnetismus auch mehr
der weniger auf alle Eisenmassen; alles weiche Eisen muß also unter dem Ein-
lusse des Erdmagnetismus einen polaren Magnetismus annehmen, der sich je
ach den Umständen deutlicher oder weniger deutlich nachweisen läßt.

Wenn eine Stange von Eisen durch den vertheilenden Einfluß des Erd-
agnetismus selbst zum Magneten gemacht ist, so reichen einige Schläge mit
em Hammer hin, um den Magnetismus zu fixiren und die Stange zu einem
leibenden Magneten zu machen; durch das Schlagen wird also dem Eisen eine
Coercitivkraft ertheilt, welche hindert, daß die durch den Einfluß der Erde im
Eisen erzeugte magnetische Polarität sich wieder verliert. Dadurch erklärt
ich auch, daß fast alle Werkzeuge in der Werkstatt eines Schlossers Magnete sind.

Es scheint, daß auch chemische Veränderungen ähnlich wirken wie mecha-
ische Erschütterungen, um den durch die Erde erzeugten Magnetismus des
Eisens zu fixiren; denn man findet, daß Eisenstangen, welche längere Zeit ver-
ical standen und in dieser Stellung rosteten, einen bleibenden Magnetismus er-
alten haben.

Wenn man einen Hufeisenmagnet in Eisenfeile taucht, so hängt sich zwi-
chen den Polen ein Bündel derselben an; wenn man sie nun mit etwas Wasser

befeuchtet und dann mittelſt der Löthrohrflamme zum Glühen erhitzt, während ſie noch immer dem vertheilenden Einfluſſe des Magnets ausgeſetzt ſind, ſo geht eine theilweiſe Oxydation des Eiſens vor ſich; man erhält eine ziemlich compacte Maſſe, deren Zuſammenſetzung der der natürlichen Magnete ähnlich iſt und welche ebenfalls bleibenden Magnetismus zeigt.

178 **Abnahme der magnetiſchen Effecte mit der Entfernung.** Nachdem wir die magnetiſche Wirkung der Erde kennen gelernt haben, können wir nun auch unterſuchen, nach welchem Geſetze die Stärke der magnetiſchen Anziehungen und Abſtoßungen mit wachſender Entfernung abnimmt. Es läßt ſich wohl von vornherein vermuthen, daß die magnetiſchen Wirkungen, wie alle anderen von einem Punkte ausgehenden Wirkungen, im umgekehrten Verhältniſſe des Quadrates der Entfernung ſtehen, d. h. daß in 2-, 3-, 4mal größerer Entfernung die Wirkung 4mal, 9mal, 16mal kleiner iſt.

Wenn man verſuchen will, dies Geſetz durch das Experiment zu beſtätigen, ſo ſtößt man auf die eigenthümliche Schwierigkeit, daß man nie mit einem magnetiſchen Pole allein experimentiren kann, daß der eine immer etwas auf die Wirkung des anderen influirt; man hat deshalb nur dafür zu ſorgen, daß die Entfernung des einen Poles ſo groß iſt, daß ſein ſtörender Einfluß gegen die Wirkungen des anderen verſchwindet.

Eine kleine Magnetnadel $n\,s$, Fig. 374, werde an einem Coconfaden ſo aufgehängt, daß ſie in horizontaler Ebene frei oſcilliren kann, daß ſie aber vor ſtörenden Luftſtrömungen hinlänglich geſchützt iſt. Dieſe Nadel läßt man zuerſt unter dem alleinigen Einfluſſe des Erdmagnetismus oſcilliren.

Fig. 374.

Nun läßt man den einen Pol eines möglichſt ſtark magnetiſirten Stahlſtabes auf die Nadel wirken. Dieſer Stahlſtab wird in den magnetiſchen Meridian der Nadel $n\,s$ gebracht, und zwar in verticaler Stellung, ſo daß dem Pole s der Nadel derjenige Pol N des Stabes zugekehrt iſt, auf welchen er anziehend wirkt.

Der Stab $N\,S$ muß ſo groß ſein, daß die Entfernung $s\,N$ möglichſt klein iſt im Vergleich zur Entfernung $s\,S$, daß man alſo die Wirkung des Poles S auf s ohne merklichen Fehler vernachläſſigen kann.

Unter dem Einfluſſe des Magnetpoles N wird nun die Nadel $n\,s$ raſcher oſcilliren als unter dem alleinigen Einfluſſe des Erdmagnetismus, und zwar um ſo ſchneller, je näher N bei s ſteht.

Hat man die Schwingungszahl der Nadel für die einfache, doppelte, dreifache Entfernung zwiſchen N und s und für den Fall beobachtet, daß der Magnetſtab $N\,S$ ganz entfernt iſt, ſo ergiebt ſich aus dieſen Zahlen, daß die anzie-

hende Kraft des Poles N auf s in der doppelten und dreifachen Entfernung 4mal, 9mal geringer ist.

Weber hat diesen Satz auf indirectem Wege bewiesen, indem er nicht die Wirkung eines einzelnen Poles, sondern die Wirkung des ganzen Magnets in größerer Entfernung untersuchte. Er hat gezeigt, daß, wenn ein Magnetstab klein ist im Vergleiche mit der Entfernung, auf welche er wirkt, die Totalwirkung desselben im umgekehrten Verhältnisse der dritten Potenz der Entfernung abnehmen muß, wenn die Wirkung eines einzelnen Poles wirklich im umgekehrten Verhältnisse des Quadrates der Entfernung steht.

In Fig. 375 sei NS ein Magnetstab von 1 Decimeter Länge, dessen Mitte 10 Decimeter weit vom Mittelpunkte der kleinen Magnetnadel ns entfernt ist. Die Magnetnadel sei so klein, daß die Länge Ss nicht merklich größer ist, als die Entfernung von S bis zur Mitte der Nadel, so ist $Ss = 9{,}5$ Decimeter und Ns ist 10,5 Decimeter. Bezeichnet man mit 1 die Kraft, mit welcher sich die Pole S und s in der Entfernung von 1 Decimeter abstoßen, so ist jetzt die abstoßende Kraft $\frac{1}{9{,}5^2} = \frac{1}{90{,}25}$, wenn die Wirkung des Poles im umgekehrten Verhältnisse des Quadrates der Entfernung steht. Aus derselben Voraussetzung ergiebt sich für die anziehende Wirkung zwischen den Polen N und s der Werth $\frac{1}{10{,}5^2} = \frac{1}{110{,}25}$; die Totalwirkung, welche der Magnet NS auf s ausübt, ist also $\frac{1}{90{,}25} - \frac{1}{110{,}25} = \frac{20}{9950}$.

Fig. 375.

Bringt man den Magnet in die doppelte Entfernung von der Nadel, d. h. legt man ihn so, daß $Ss = 19{,}5$ und $Ns = 20{,}5$ ist, so muß nun die Totalwirkung des Magnets NS auf den Pol s sein:

$$\frac{1}{19{,}5^2} - \frac{1}{20{,}5^2} = \frac{1}{380{,}25} - \frac{1}{420{,}25} = \frac{40}{159800}.$$

Wenn man also die Mitte des Magnetstabes aus der Entfernung von 10 Decimetern in die Entfernung von 20 Decimeter bringt, so muß seine Wirkung im Verhältnisse von $\frac{20}{9950}$ zu $\frac{40}{159800}$ abnehmen, vorausgesetzt, daß die Wirkung jedes einzelnen Poles im umgekehrten Verhältnisse des Quadrates der Entfernung steht. Es ist aber

$$\frac{20}{9950} : \frac{40}{159800} = \frac{1}{995} : \frac{2}{15980} = \frac{15980}{1990} = 8;$$

in der doppelten Entfernung ist also die Totalwirkung des Magnets 8mal schwächer, 8 aber ist die dritte Potenz von 2.

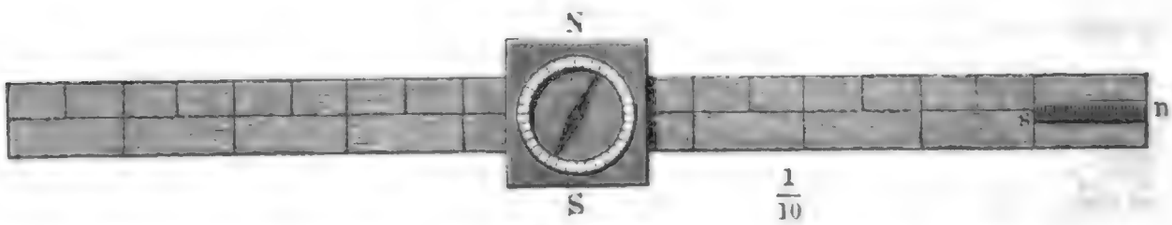
Was hier an einem speciellen Beispiele gezeigt wurde, läßt sich auch all-

gemein beweisen; es läßt sich allgemein darthun, daß die Totalwirkung eines Magnets im umgekehrten Verhältnisse der dritten Potenz der Entfernung stehen muß, wenn die Wirkung der einzelnen Pole im umgekehrten Verhältnisse des Quadrates der Entfernung steht, vorausgesetzt, daß die Dimensionen des Stabes und der Nadel klein genug sind im Vergleich zu ihrer gegenseitigen Entfernung.

Daß sich aber die Totalwirkung eines Magnetstabes in der Ferne wirklich umgekehrt verhält wie die dritte Potenz der Entfernung, läßt sich durch den Versuch in folgender Weise bestätigen.

Ein Stab, welcher 1 Meter lang und in halbe Decimeter getheilt ist, werde so gelegt, daß seine Richtung rechtwinkelig auf dem magnetischen Meridian steht. Auf seine Mitte werde dann eine kleine Bussole gesetzt, wie man Fig. 376 sieht. Die Nadel dieser Bussole wird auf Null stehen, wenn außer

Fig. 376.



der magnetischen Erdkraft keine anderen magnetischen Kräfte auf sie wirken. Wenn man aber seitwärts auf den Stab einen Magnet legt, so wird die Nadel abgelenkt, und zwar ist die ablenkende Kraft der Tangente des Ablenkungswinkels proportional.

Man lege nun einen Magnetstab von 1 Decimeter Länge, sowie es die Fig. 376 zeigt, daß also seine Mitte 45 Centimeter weit von der Mitte der Bussole entfernt ist. Bei einem solchen Versuche ergab sich eine Ablenkung von $11^1/_2{}^0$.

Dann wurde der Magnetstab $n\,s$ so gelegt, daß seine Mitte 30 Centimeter weit von der Mitte der Bussole war, und nun betrug die Ablenkung $35^1/_4{}^0$.

Die Entfernungen verhalten sich hier wie 30 zu 45 oder wie 2 zu 3, die Tangenten der Ablenkungswinkel müssen sich also verhalten wie 2^3 zu 3^3 oder wie 8 zu 27 oder wie 1 : 3,375.

Nun aber ist auch *tang.* $11^1/_2{}^0 = 0{,}2034$, *tang.* $35^1/_4{}^0 = 0{,}7115$, und $\frac{0{,}7115}{0{,}2034} = 3{,}49$; die Tangenten der Ablenkungswinkel verhalten sich also in der That sehr nahe wie 8 zu 27 oder wie die dritten Potenzen der Entfernungen. Daß die Uebereinstimmung nicht vollständiger ist, liegt nur daran, daß bei obigen Versuchen die Länge des Magnetstabes noch ziemlich bedeutend war im Verhältniß zu seinem Abstand von der Nadel.

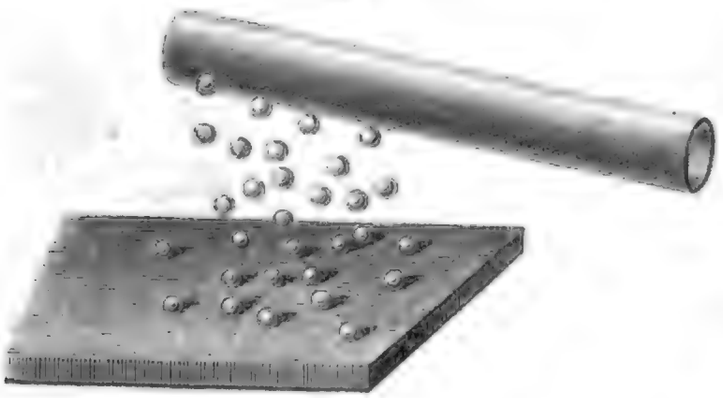
Zweites Capitel.

Von der Reibungs-Elektricität.

Es giebt Körper, welche durch Reiben die Eigenschaft erlangen, leichte Körper anzuziehen. Wenn man mit Wollen- oder Seidenzeug einen Glasstab, eine Porzellanröhre, eine Stange Schwefel oder Siegellack, ein Stück Bernstein, Gutta-Percha u. s. w. reibt, so erlangen diese Körper sogleich die merkwürdige Eigenschaft, leichte Gegenstände, wie Papierschnitzel, Kügelchen von Hollundermark u. s. w., anzuziehen. 179

Wenn man Kügelchen von Hollundermark auf einen Tisch oder noch besser auf eine Metallplatte legt und dann eine geriebene Glas- oder Harzstange darüber hält, so sieht man, wie die Kügelchen nach derselben hinfliegen, Fig. 377, und, nachdem sie die Stange berührt haben, wieder von derselben abgestoßen werden. Die Kraft, welche diese Erscheinung bewirkt, wird mit dem Namen der Elektricität bezeichnet.

Fig. 377.

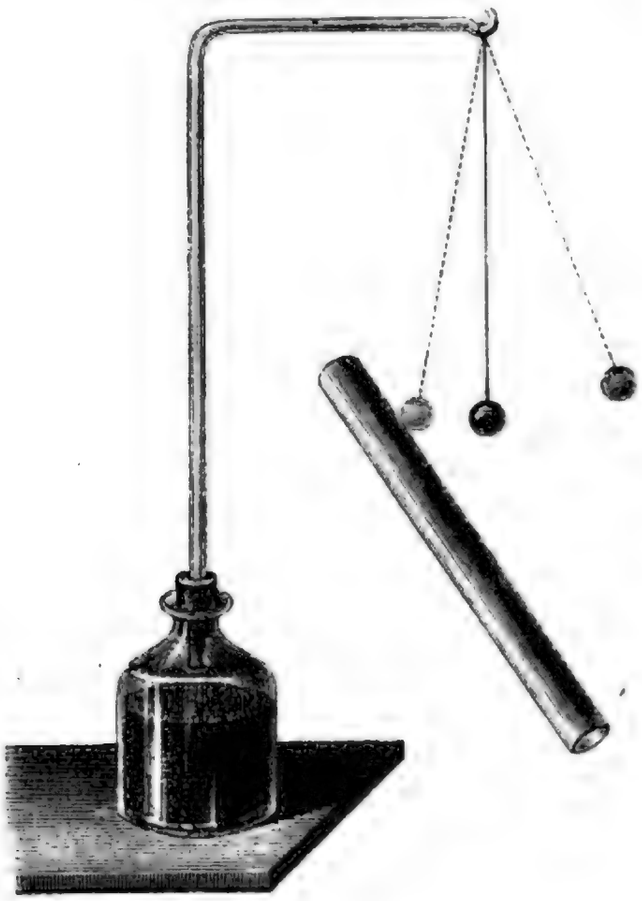


Noch empfindlicher zur Nachweisung der elektrischen Wirkungen geriebener Körper, als das eben beschriebene Verfahren, ist das elektrische Pendel, Fig. 378 (a. f. S.), welches im Wesentlichen aus einem an einem seidenen oder leinenen Faden aufgehängten Kügelchen von Hollundermark oder Sonnenblumenmark besteht; wenn man diesem Kügelchen eine geriebene Glas- oder Harzstange nähert, so zeigt sich die Anziehung schon auf ziemliche Entfernung, namentlich wenn das Kügelchen an einem leinenen Faden hängt.

Mit Hülfe des elektrischen Pendels läßt sich zeigen, daß alle Harze, Bernstein, Schwefel, Glas durch Reiben stark elektrisch werden; Edelsteine, Holz, Kohle geben selten Spuren von Anziehung; Metalle endlich scheinen auf den

ersten Anblick durch Reiben gar nicht elektrisch gemacht werden zu können, denn man mag einen Metallstab, den man in den Händen hält, noch so stark reiben, so erhält man an diesem Apparate auch nicht die mindesten Spuren von Anziehung. Man zerfällte danach alle Körper in zwei große Classen: in solche, welche durch Reiben elektrisch werden, und solche, welche diese Eigenschaft nicht haben. Erstere nannte man idioelektrische, letztere anelektrische Körper.

Fig. 378.



Diese Eintheilung beruht jedoch auf einer irrigen Ansicht; denn man hat gefunden, daß alle Körper, selbst Metalle, durch Reiben elektrisch gemacht werden können, und wenn man bei vielen durch Reiben keine Spur von Elektricität erhalten kann, so liegt die Ursache davon in anderen Umständen, die wir bald näher werden kennen lernen.

180 **Leiter und Nichtleiter.** Ein englischer Physiker, Gray, fand im Jahre 1727, daß auch Metalle den elektrischen Zustand annehmen können, und zwar auf folgende Weise. Das eine Ende einer offenen Glasröhre war mit einem Korke verstopft und in diesem steckte ein Metallstäbchen; wurde nun die Röhre gerieben, so zeigte sich alsbald auch das Metallstäbchen elektrisch: ein Beweis, daß es die Elektricität aufzunehmen und fortzupflanzen vermag. Dieselbe Eigenschaft haben aber alle anelektrischen Körper; man nannte sie deshalb Leiter der Elektricität. Die idioelektrischen Körper dagegen sind keine Leiter; denn wenn man z. B. einen Glasstab durch Reiben an einem Ende elektrisch macht, so zeigt das andere Ende keine Anziehung.

Man kann diese Fundamentalwahrheit sehr gut mit Hülfe der Elektrisirmaschine nachweisen, welche wir, ohne noch ihre Einrichtung zu kennen, doch vor der Hand schon als Mittel anwenden können, um Elektricität zu entwickeln. Der Conductor der Maschine ist ein metallischer Körper, welcher elektrisch gemacht wird. Wenn man mit dem in den elektrischen Zustand versetzten Conductor einen an Seidenschnüren aufgehängten oder einen durch einen Glasfuß getragenen Metallkörper in Berührung bringt, so wird das Metall seiner ganzen Ausdehnung nach elektrisch; sobald man es aber durch irgend einen guten

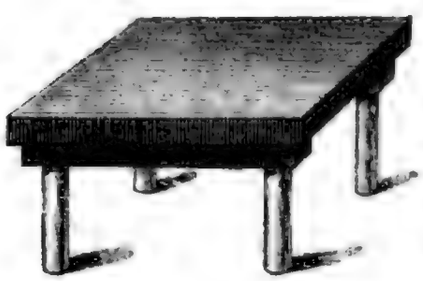
Leiter mit dem Boden in Verbindung setzt, verschwindet alle Elektricität augenblicklich.

Es geht daraus auch hervor, daß die Seidenfäden, der Glasstab Nichtleiter der Elektricität, daß sie Isolatoren sind. Ein Leiter der Elektricität kann also nur so lange elektrisch bleiben, als er isolirt, d. h. von lauter Nichtleitern umgeben ist. Auch die Luft ist ein Isolator, denn sonst würde die Elektricität von dem Metalle augenblicklich durch die Luft abgeführt werden.

Wasser und Wasserdampf sind gute Leiter, deshalb verliert sich die Elektricität, welche auf einem isolirten Leiter bei trockener Luft lange haftet, sehr schnell, wenn die Luft feucht ist.

Auch der menschliche Körper ist ein guter Leiter. Wenn man, auf dem Boden stehend, den Conductor der Elektrisirmaschine anfaßt, so wird alle Elektricität, welche durch das Drehen derselben erzeugt wird, sogleich abgeführt; wenn man aber auf einem schlechten Leiter, etwa auf einem Harzkuchen oder auf einem sogenannten Isolirschemel, Fig. 379, d. h. auf einem durch Glasfüße getragenen Brette steht, so wird der ganze Körper elektrisch. Man sieht jetzt auch ein, warum eine Metallstange, die man in der Hand hält, durch Reiben nicht elektrisch wird; alle Elektricität nämlich, welche man durch das Reiben auf dem Metalle erzeugt, wird sogleich durch den menschlichen Körper wieder abgeführt.

Fig. 379.



Die besten Isolatoren werden Leiter, wenn sich Wasserdampf auf ihnen niederschlägt. Es ist deshalb für den Erfolg elektrischer Versuche von der größten Wichtigkeit, Glasfüße, Harzstangen u. s. w., welche einen Leiter isoliren sollen, durch Erwärmen und Reiben gehörig trocken zu machen.

Statt die Körper in Leiter und Nichtleiter einzutheilen, müßte man sie, um genauer zu reden, gute oder schlechte Leiter nennen, denn absolute Nichtleiter giebt es nicht. Schellack, überhaupt Harze, Seide und Glas sind die schlechtesten Leiter, die es giebt; die Metalle hingegen sind die besten Leiter.

Von den beiden Arten der Elektricität. Nehmen wir ein 181
einfaches elektrisches Pendel, Fig. 378, zur Hand, dessen Kügelchen an einem Seidenfaden aufgehängt ist. Wenn man eine geriebene Glas- oder Schellackstange nähert, so wird das Hollundermarkkügelchen angezogen, es berührt die Stange, bleibt aber nur einige Augenblicke daran haften, um alsbald abgestoßen zu werden. Diese Repulsion rührt von der Elektricität her, welche dem Kügelchen durch die Berührung mit der Stange mitgetheilt worden ist; denn wenn man es mit der Hand berührt und es dadurch wieder auf seinen natürlichen Zustand zurückführt, wird es von Neuem angezogen und nach der Berührung abermals abgestoßen. Daß das abgestoßene Kügelchen wirklich elektrisch ist, geht auch daraus hervor, daß es selbst von Körpern, die sich im natürlichen Zustande befinden (man muß jedoch zu diesem Versuche Leiter wählen), angezogen wird.

Wenn man zwei isolirte Pendel nimmt, von denen das eine durch Berührung mit einer Glasstange, die mit Seide gerieben worden war, das andere durch eine mit Pelz geriebene Schellackstange elektrisch gemacht worden ist, so beobachtet man folgende merkwürdige Erscheinung. Das eine Kügelchen, welches durch die Glasstange abgestoßen wird, wird durch die Schellackstange angezogen, das vom Schellack abgestoßene aber wird durch das Glas angezogen. Die Elektricität des geriebenen Glases ist also nicht identisch mit der des Harzes, weil jede das anzieht, was die andere abstößt.

Die beiden Elektricitäten hat man mit dem Namen der Glaselektricität und der Harzelektricität bezeichnet. Die Glaselektricität wird auch die positive, die Harzelektricität die negative genannt. Die Entdeckung der beiden verschiedenen Elektricitäten wurde von Dufay im Jahre 1773 gemacht.

182 **Von den elektrischen Flüssigkeiten und dem natürlichen Zustande der Körper.** Was eigentlich das Agens sei, welches die elektrischen Anziehungs- und Abstoßungserscheinungen hervorbringt, ist uns vor der Hand noch unbekannt. Um aber eine klare Uebersicht der elektrischen Erscheinungen und ihres Zusammenhanges geben zu können, ist es unumgänglich nothwendig, sich irgend eine Hypothese über das Wesen der Elektricität zu bilden.

Die zweckmäßigste, fast allgemein angenommene elektrische Hypothese ist nun die, daß es zwei verschiedene elektrische imponderabele Fluida gebe (positiv elektrisches Fluidum und negativ elektrisches Fluidum), welche ein ähnliches Verhalten gegen einander zeigen, wie wir es bei den hypothetischen magnetischen Flüssigkeiten kennen lernten, d. h. Theilchen gleichnamiger elektrischer Flüssigkeit stoßen einander ab, ungleichnamige Fluida ziehen einander an.

Ein Körper befindet sich im natürlichen, elektrisch-neutralen Zustande, wenn gleiche Quantitäten beider Fluida gleichförmig über seine ganze Masse verbreitet sind, wenn sich also die beiden elektrischen Fluida, welche der Körper enthält, gegenseitig neutralisiren.

Ein Körper ist elektrisch, wenn er einen Ueberschuß an positivem oder negativem Fluidum enthält.

Zwischen den elektrischen und magnetischen Flüssigkeiten findet jedoch ein wesentlicher Unterschied statt: die elektrischen Fluida können nämlich von einem Körper zum andern übergehen, während die magnetischen Fluida als an die einzelnen Eisenpartikelchen gebunden zu betrachten sind und nicht von einem Eisenstabe zu einem andern, oder nur von einem Eisentheilchen zu einem benachbarten übergehen können.

Wenn durch Reiben in einem Körper $+E$ frei gemacht wird, so muß in gleichem Maße auch $-E$ entwickelt werden. Wenn der geriebene Körper positiv elektrisch wird, so wird das Reibzeug negativ und um-

gekehrt. Man kann dies am einfachsten dadurch zeigen, daß man einen Glasstab mit einer Platte von etwas dickem vulcanisirtem Kautschuk reibt, wie dies in Fig. 380 angedeutet wird; nähert man die geriebene Seite der Kautschukplatte der Kugel des elektrischen Pendels, Fig. 378, nachdem man dieselbe mit $-E$ geladen hat, so wird die Kugel abgestoßen; die Kautschukplatte ist also gleichfalls negativ elektrisch, während der durch Reiben positiv gewordene Glasstab die negativ elektrische Kugel anzieht.

Fig. 380.

Da ein Körper in seinem natürlichen Zustande die beiden E in gleichem Maße enthält, so giebt es keinen Grund anzunehmen, daß er besonders geeignet sei, vorzugsweise die eine aufzunehmen und zurückzuhalten; er kann also auch durch Reiben bald $+$, bald $-$ elektrisch werden, je nachdem man ein anderes Reibzeug wählt. Glas z. B. wird, mit Wolle oder Seide gerieben, positiv, mit einem Katzenpelze gerieben, negativ elektrisch. Um die Elektricität genau zu bezeichnen, muß man also sagen: die $+E$ ist diejenige, welche das Glas durch Reiben mit Wolle oder Seide annimmt, die $-E$ hingegen diejenige, welche das Harz annimmt, wenn man es mit einem Katzenfelle oder mit Wolle reibt.

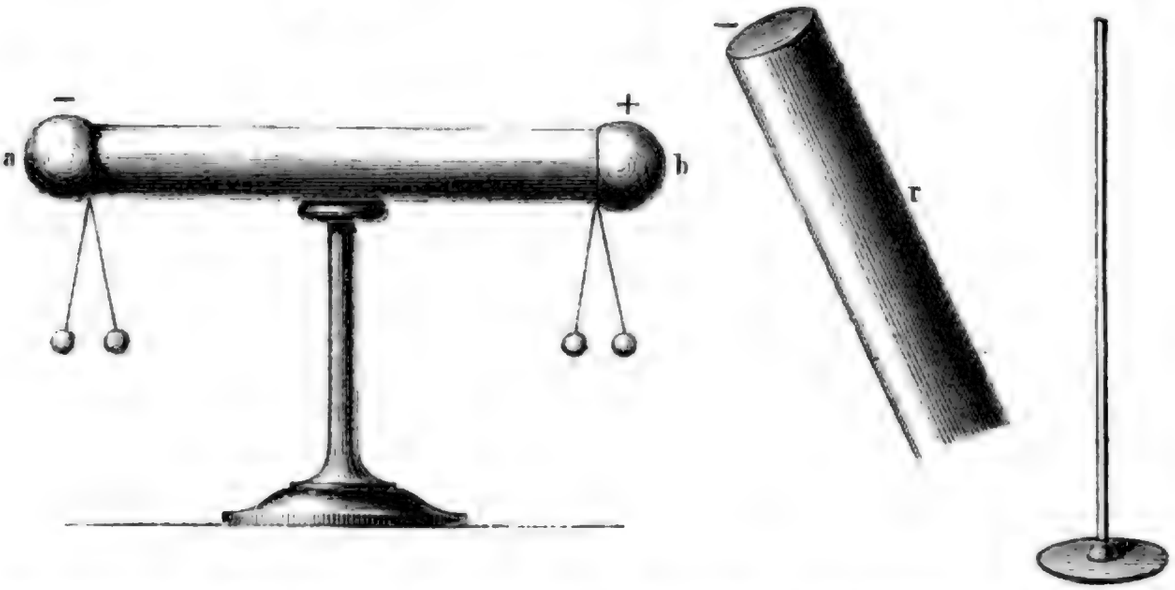
Elektrische Vertheilung. Wir haben gesehen, daß jede der elek- 183
trischen Flüssigkeiten die gleichnamige abstößt und die ungleichnamige anzieht. Diese Anziehung und Abstoßung äußert sich aber nicht allein auf die schon zersetzten Flüssigkeiten, sondern auch auf die noch verbundenen, und daher kommt es, daß die verbundenen Elektricitäten eines Leiters, der sich im natürlichen Zustande befindet, durch die Annäherung eines elektrischen Körpers vertheilt werden.

Einem isolirten Leiter ab, Fig. 381 (a. f. S.), nähere man von der einen Seite her einen elektrischen Körper, etwa einen negativ elektrischen Harzstab r, Fig. 382 (a. f. S.) so wird ab durch Vertheilung elektrisch. Dem vertheilenden Körper r zunächst findet sich bei b die angezogene positive, an dem von r abgewandten Ende a des isolirten Leiters die abgestoßene negative Elektricität.

Daß die Elektricitäten wirklich auf diese Weise vertheilt sind, läßt sich durch ein Probescheibchen nachweisen. Es ist dies ein Scheibchen von Rauschgold oder

von Messingblech von 1 bis 2 Centimeter Durchmesser, Fig. 383, welches an einem langen Stäbchen von Schellack oder einem überfirnißten ganz dünnen

Fig. 381. Fig. 382. Fig. 383.



Glasstäbchen befestigt ist. Berührt man mit diesem Scheibchen den isolirten Leiter bei a, während der negativ elektrische Körper r sich in der Nähe befindet, so wird sich das Probescheibchen mit der hier angehäuften Elektricität laden, und welche Elektricität dies sei, erfährt man, wenn man das Probescheibchen nun einem geladenen elektrischen Pendel, etwa einem negativ elektrischen, nähert. Das Kügelchen wird in unserem Falle von dem Probescheibchen abgestoßen, weil es sich bei a mit $-E$ geladen hat.

Um die bei a und b durch die vertheilende Wirkung des elektrischen Körpers r freigewordene Elektricität auch ohne Probescheibchen nachzuweisen, brachte Biot an den Enden des isolirten Leiters elektrische Doppelpendel an (an leinenen Fäden hängende Hollundermarkkügelchen), welche augenblicklich divergiren, sobald man einen elektrischen Körper r nähert; die Pendel bei b divergiren, weil beide Kugeln mit der durch r angezogenen, die bei a, weil sie mit der von r abgestoßenen Elektricität geladen sind.

Wenn man den isolirten Leiter ab ableitend berührt, während der elektrische Körper r in der Nähe bleibt, so fallen die Pendel bei a zusammen, weil alle abgestoßene Elektricität entweicht, die Divergenz der Pendel bei b hört aber nicht auf, denn die von r angezogene Elektricität kann nicht abgeleitet werden, weil sie durch die anziehende Wirkung, welche r auf dieselbe ausübt, bei b gleichsam gebunden ist.

Entfernt man nun zunächst die ableitende Berührung und alsdann den vertheilenden Körper r, so kann sich nun die bis dahin bei b gebunden gewesene Elektricität frei über den ganzen Leiter ab verbreiten.

184 **Das Elektrometer.** Das Princip der elektrischen Vertheilung liefert uns ein treffliches Elektroskop. — Wenn am unteren Ende eines isolirten Metallstabes ein Paar elektrische Pendel hängen, so divergiren sie, wenn man von

oben einen elektrischen Körper nähert. Um aus einer solchen Vorrichtung ein brauchbares Elektroskop zu machen, müssen die Pendel zur Abhaltung von Luftströmungen in ein Glasgefäß eingeschlossen, und dann muß das leitende System sorgfältig isolirt sein. Das Metallstäbchen steckt deshalb in einem gefirnißten Glasröhrchen. Die Pendel können aus Strohhalmen oder Metallblättchen u. s. w. bestehen.

Fig. 384 stellt ein Goldblattelektroskop dar. Wird ein solches Instrument mit einem Gradbogen versehen, welcher gestattet, die Divergenz der Pendel zu messen, so erhält man ein Elektrometer. Fig. 385 stellt ein Strohhalmelektrometer dar.

Fig. 384.

Fig. 385.

Wenn man einem Elektroskope von oben einen elektrischen Körper, etwa eine geriebene Harzstange *r*, Fig. 384, nähert, so divergiren die Pendel, weil die von *r* abgestoßene Elektricität in die Pendel herabgetrieben, die von *r* angezogene aber in die Platte des Elektroskops heraufgezogen wird.

Wenn man nun die Platte des Elektroskops ableitend berührt, so fallen die Pendel zusammen, weil die von *r* abgestoßene Elektricität entweicht, die von *r* angezogene Elektricität dagegen wird in der Platte des Elektroskops gebunden. Entfernt man nun zunächst die ableitende Berührung und dann den

elektrischen Körper r, so divergiren die Pendel aufs Neue, das Elektroskop ist nun geladen und zwar mit der dem Vertheiler r entgegengesetzten Elektricität.

Ein so geladenes Elektroskop dient dazu, um zu untersuchen, von welcher Natur die Elektricität irgend eines elektrischen Körpers ist. Wenn man nämlich denselben von oben her der Platte des geladenen Elektroskops nähert, so fallen die Pendel zusammen, wenn die Elektricität des genäherten Körpers und diejenige, mit welcher das Elektroskop geladen ist, ungleichnamig sind. Im entgegengesetzten Falle nimmt die Divergenz der Pendel zu.

Wenn man einem geladenen Elektroskope einen nicht elektrischen Leiter nähert, so nimmt die Divergenz der Pendel ebenfalls ab. Es ergiebt sich dies leicht als nothwendige Folge der Gesetze der elektrischen Vertheilung.

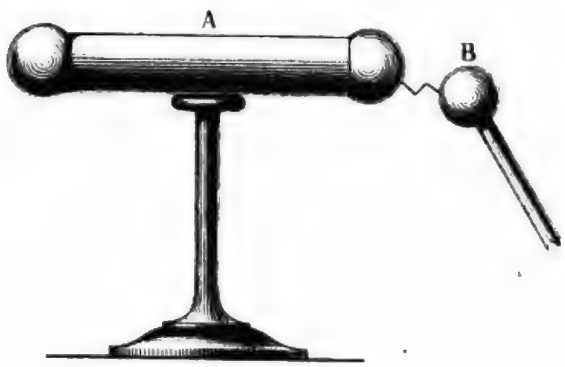
Die auf S. 337 u. 338 beschriebenen Anziehungserscheinungen finden durch die Gesetze der elektrischen Vertheilung nun auch ihre Erklärung. Wenn einem Körper, der sich im natürlichen Zustande befindet, ein elektrischer genähert wird, so werden seine Elektricitäten zerlegt. Dies ist nun auch bei dem Korkkügelchen des einfachen elektrischen Pendels der Fall. Ist es an einem Seidenfaden aufgehängt, so kann die abgestoßene E nicht aus dem Kügelchen entweichen, sie wird auf die hintere Seite des Kügelchens getrieben, während sich die angezogene auf der Vorderseite anhäuft. Weil aber die angezogene E dem Körper, von welchem die Wirkung ausgeht, näher ist, so ist die Anziehung stärker als die Abstoßung; die Kraft, welche das Kügelchen gegen den elektrischen Körper hintreibt, ist der Differenz dieser beiden entgegengesetzten Kräfte gleich; darum wird auch hier erst bei sehr geringer Entfernung des elektrischen Körpers eine Anziehung erfolgen. Weit energischer ist die Wirkung, wenn das Kügelchen an einem leitenden Faden aufgehängt ist, weil alsdann die abgestoßene E entweichen kann und durch sie die Anziehung nicht geschwächt wird.

Ein Kügelchen von Schellack wird bei Annäherung eines elektrischen Körpers nicht angezogen, weil der genäherte Körper nur sehr schwer Vertheilung in demselben hervorbringen kann. Es ist dies eine Erscheinung, welche der ähnlich ist, daß ein Magnet in einem Stücke weichen Eisens eine magnetische Vertheilung hervorbringt, in einem Stücke Stahl aber ungleich schwieriger.

185 **Der elektrische Funken.** Wenn man einem isolirten, mit positiver oder negativer Elektricität geladenen Leiter einen anderen nicht elektrischen Leiter nähert, so geht in dem letzteren, wie wir gesehen haben, eine elektrische Vertheilung vor sich, deren Stärke mit der Annäherung zunimmt. Es sei z. B. der isolirte Leiter A, Fig. 386, mit positiver Elektricität geladen worden und man nähere ihm eine metallische Kugel B, so wird sich dieselbe nur mit negativer Elektricität laden, wenn sie mit dem Boden in leitende Verbindung gesetzt wird. Die bei größerer Annäherung zwischen A und B immer wachsende Anhäufung der entgegengesetzten Elektricitäten auf den einander zugekehrten Punkten der beiden Leiter bewirkt, daß die Anziehung dieser entgegengesetzten Elektricitäten endlich so stark wird, daß eine theilweise Vereinigung der-

ſelben ſchon vor ſich geht, ehe noch *A* und *B* in unmittelbare Berührung kommen, indem die iſolirende Luftſchicht, welche ſie noch trennt, durchbrochen wird.

Fig. 386.



Ein ſolcher Uebergang der entgegengeſetzten Elektricitäten von einem Körper zum andern iſt dann ſtets mit einer Lichterſcheinung, dem elektriſchen Funken, begleitet, während ſich zugleich ein mehr oder minder ſtarkes Knacken hören läßt. Die Erſcheinung des elektriſchen Funkens wird weiter unten noch näher beſprochen werden.

Das Elektrophor iſt einer der wichtigſten elektriſchen Apparate und 186
kann in vielen Fällen ſelbſt die Elektriſirmaſchine erſetzen. Es beſteht aus einem Harzkuchen, welcher in eine metallene Form, gleichſam einen Teller von Metall, gegoſſen iſt, oder, wie Fig. 387 zeigt, aus einem Harzkuchen *a*, den man

Fig. 387.

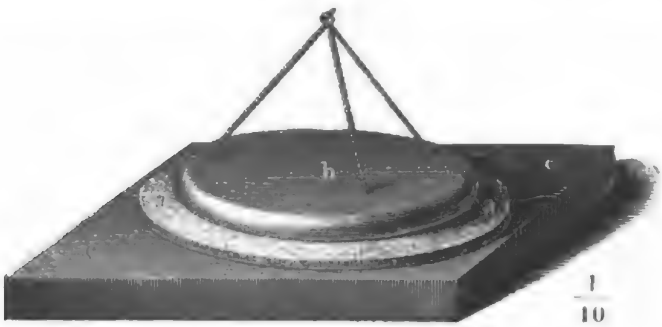
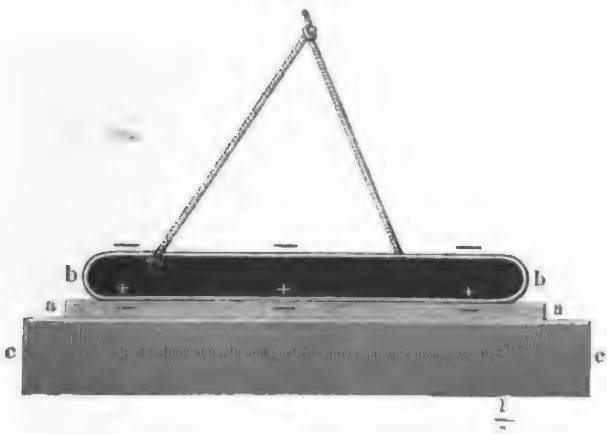


Fig. 388.



nur auf eine etwas größere Metallplatte oder ein mit Stanniol überzogenes Brett *c* auflegt. Es iſt ſehr weſentlich, daß die Oberfläche des Harzkuchens möglichſt eben ſei. Auf dieſen Harzkuchen, deſſen Oberfläche durch Schlagen mit einem Fuchsſchwanze oder einem Katzenpelze negativ elektriſch gemacht wird, ſetzt man einen durch iſolirende ſeidene

Schnüre getragenen Deckel *b* von Metall platt auf. Die $-E$ des Harzkuchens wirkt vertheilend auf die bis dahin noch verbundenen Elektricitäten im Deckel; die $+E$ wird angezogen, die $-E$ aber abgestoßen; die $+E$ wird sich deshalb im unteren, die $-E$ im oberen Theile des Deckels anhäufen, wie Fig. 388 (a. v. S.) andeutet. Nähert man dem Deckel einen Finger, so springt ein Funken über, und wenn man den Deckel mit dem Finger berührt, so wird alle $-E$ sich entfernen und der Deckel bleibt mit $+E$ geladen, welche durch die $-E$ des Harzkuchens gebunden ist, so lange der Deckel auf demselben liegen bleibt. Hebt man aber den Deckel von dem Kuchen mittelst der isolirenden Schnüre ab, so wird diese $+E$ frei, und man kann nun aus dem Deckel einen Funken positiver Elektricität ziehen.

Auch von Gutta-Percha, und namentlich aus der Masse, aus welcher die Kautschukkämme verfertigt werden, lassen sich gute Elektrophorkuchen machen.

187 **Die Elektrisirmaschine** besteht aus einem reibenden Körper, einem Reibzeuge und einem isolirten Leiter.

Der reibende Körper ist gewöhnlich ein mit Amalgam überzogenes Leder.

Der geriebene Körper ist eine Glasscheibe oder ein Glascylinder.

Der Conductor besteht aus Hohlkugeln oder Hohlcylindern von Messingblech, welche durch Glasfüße getragen werden.

Man hat der Elektrisirmaschine mancherlei verschiedene Einrichtungen gegeben; eine sehr zweckmäßige ist die in Fig. 389 abgebildete. Die Umdrehungsaxe *i* der Scheibe ist von Glas; sie wird auf der einen Seite durch den Glasfuß *s*, auf der anderen durch eine hölzerne Stütze getragen. Die Reibzeuge stecken in einem durch den Glasfuß *h* getragenen Holzgestell. In dem Conductor *a* steckt die Saugvorrichtung *d*; sie besteht hier aus zwei Holzringen, zwischen welchen sich die Scheibe hindurchbewegt. Auf der der Scheibe zugewandten Seite ist jeder der Holzringe mit einer Rinne versehen, welche mit Stanniol ausgelegt und auf deren Boden eine Reihe von Metallspitzen aufgesetzt ist, die gegen die Scheibe gerichtet sind. Ein Stanniolstreifen muß die Rinnen leitend mit dem Conductor *a* verbinden. — Auch das Gestell des Reibzeuges ist mit einem kleinen messingenen Conductor *o* versehen.

Wird die Glasscheibe gedreht, so wird sie durch die Reibung am amalgamirten Leder $+$ elektrisch; an der Saugvorrichtung angekommen, wirkt die $+E$ der Scheibe zersetzend auf den Conductor; die $-E$ wird angezogen und strömt von den Spitzen auf die Scheibe über, um sie wieder in den natürlichen Zustand zu versetzen, d. h. ihre $+E$ mehr oder weniger vollständig zu neutralisiren. Auf dem Conductor *a* bleibt $+E$ zurück.

Damit sich auf dem Wege von dem Reibzeuge bis zu den Saugringen die Elektricität des Glases nicht so leicht in die Luft verliere, ist hier die Scheibe auf beiden Seiten mit Stücken von Wachstaffet bedeckt. Wenn die Maschine kräftig wirken soll, so muß man unmittelbar vor dem Gebrauche die Glasfüße und die Scheibe mit warmen wollenen Lappen oder mit gewärmtem, recht trockenem Löschpapier reiben.

Der Conductor *o* des Reibzeuges muß mit dem Boden in leitender Verbindung ſtehen, damit die — *E* des Reibzeuges frei abfließen kann. Die durch

Fig. 389.

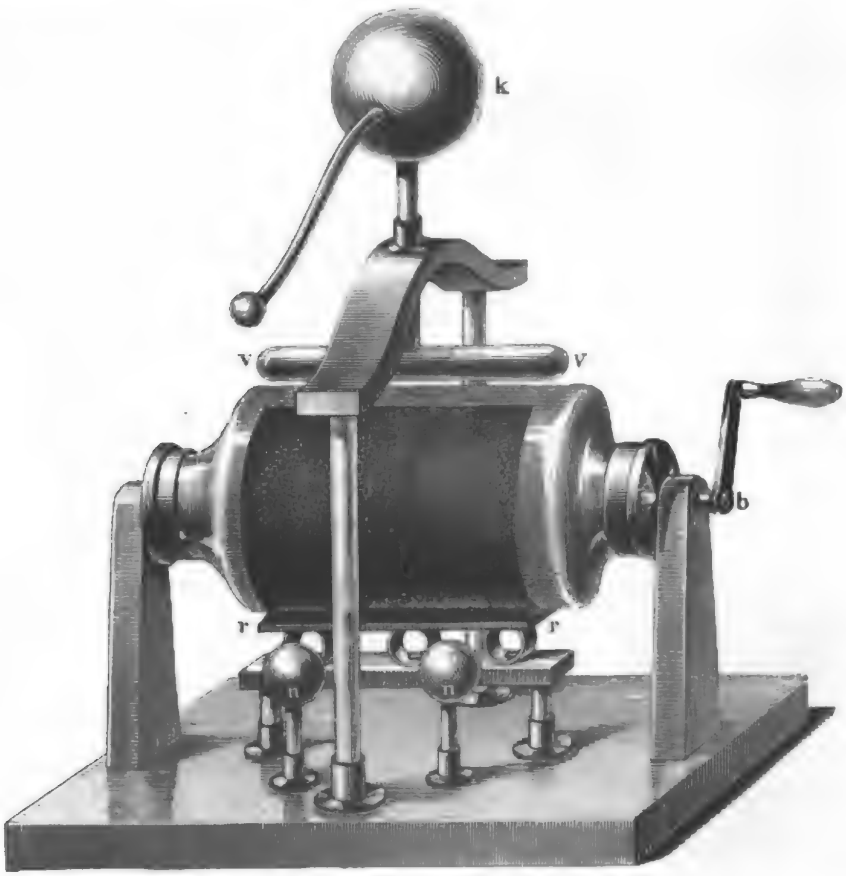
Reiben freigewordenen Elektricitäten müſſen nämlich von der Stelle, wo ſie frei wurden, weggeführt werden, wenn an derſelben Stelle durch ferneres Reiben von Neuem Elektricität erregt werden ſoll.

Wenn man den Conductor des Reibzeuges iſolirt, dagegen den Conductor *a* mit dem Boden in leitende Verbindung bringt, ſo häuft ſich auf dem Con-

ductor des Reibzeuges negative Elektricität an, und man kann aus ihm negativ elektrische Funken ziehen.

Statt der Glasscheiben wendet man auch Glascylinder zur Construction von Elektrisirmaschinen an. Fig. 390 stellt eine Cylindermaschine dar, welche wohl ohne weitere Erläuterung verständlich sein wird.

Fig. 390.



Mit Hülfe der Elektrisirmaschine lassen sich die elektrischen Anziehungs- und Abstoßungserscheinungen in mannigfachen Abänderungen zeigen. Steckt man z. B. das Metallstäbchen, Fig. 391, welches oben ein Scheibchen trägt, von dem schmale Papierstreifen herabhängen, auf den Conductor, so werden sich dieselben schirmartig ausbreiten, wenn die Maschine gedreht wird. — Fig. 392 stellt einen Glascylinder von 3 bis 4 Zoll Durchmesser dar, welcher oben und unten mit einer Metallplatte endigt; auf der unteren, welche gut abgeleitet ist, liegen einige Hollundermarkkügelchen, die obere ist durch eine Metallkette mit dem Conductor der Elektrisirmaschine verbunden. Sobald die Maschine gedreht wird, tanzen die Kügelchen zwischen dem oberen und unteren Deckel hin und her.

Leicht entzündliche Gegenstände werden durch den elektrischen Funken entzündet. Schon der einfache Funke des Elektrophors oder noch sicherer der

Funke der Elektrisirmaschine entzündet Knallgas, d. h. ein Gemisch von Sauerstoffgas und Wasserstoffgas. (Die elektrische Pistole, Fig. 394; das Eudiometer.)

Fig. 391.

Fig. 392.

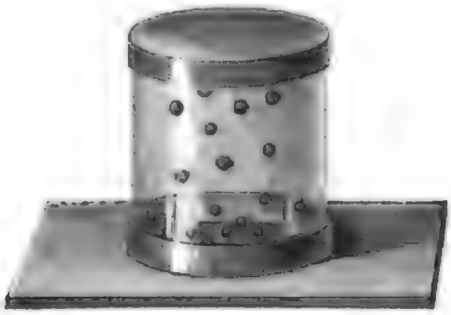


Fig. 393.

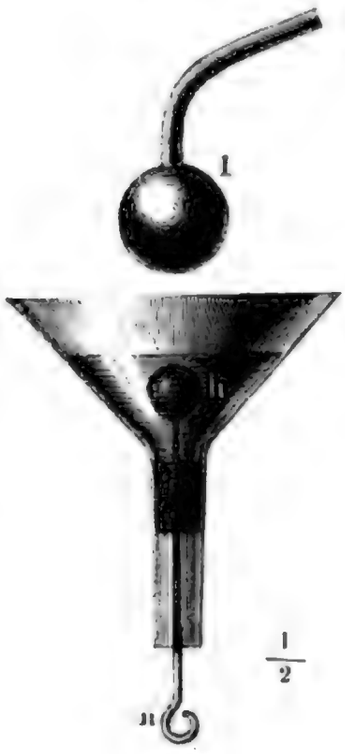


Fig. 394.

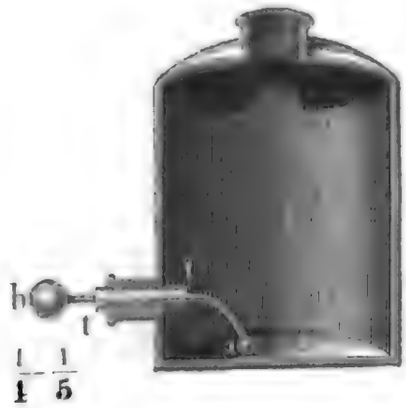


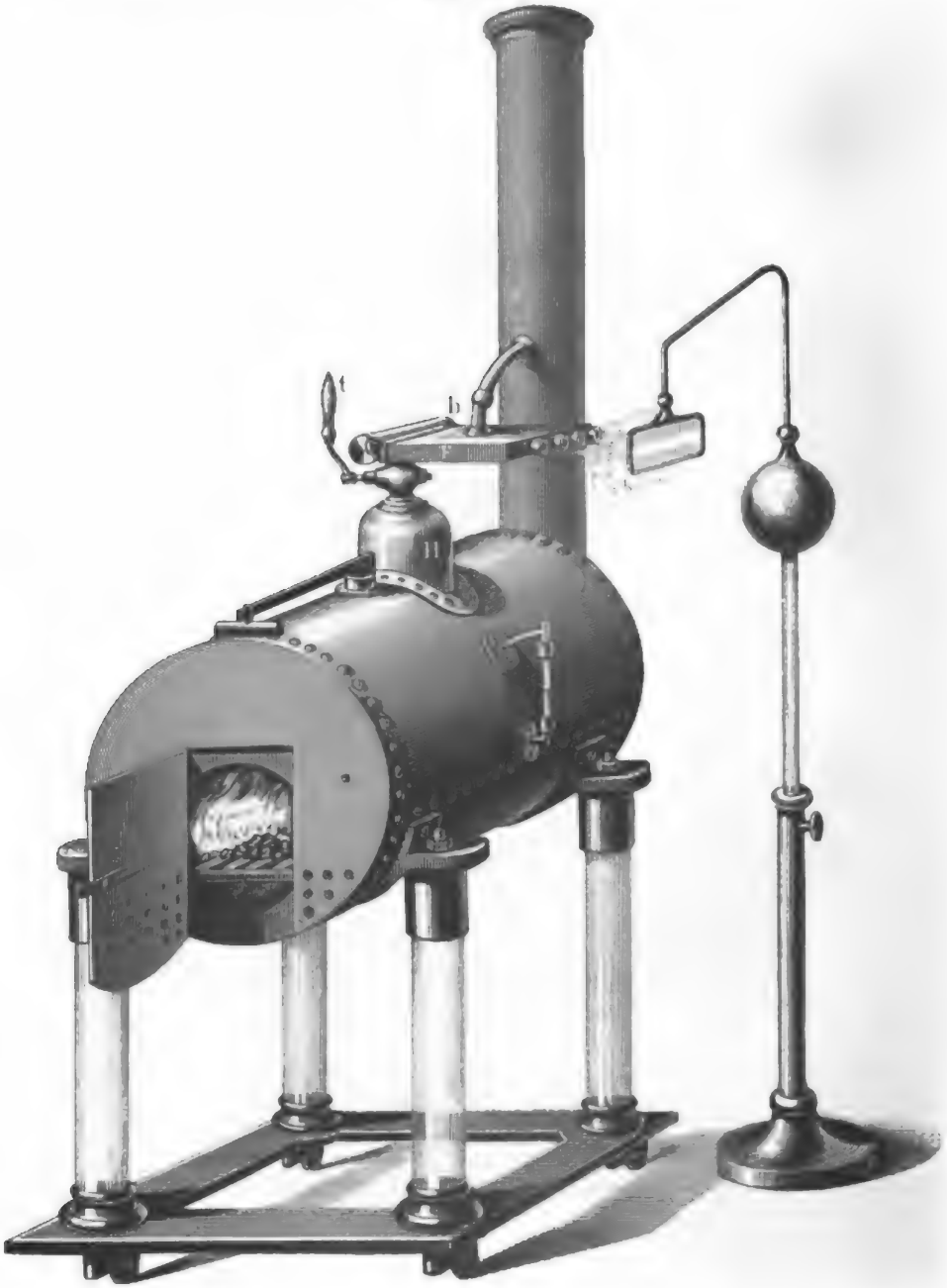
Fig. 393 erläutert die zweckmäßigste Art, mit Hülfe des elektrischen Funkens Weingeist oder Aether anzuzünden. Man läßt von der mit dem Conductor der Elektrisirmaschine verbundenen Kugel *l* zu der mit dem Boden in leitender Verbindung stehenden Kugel *h*, welche sich etwas unter der Oberfläche des Aethers befindet, einen kräftigen Funken überschlagen.

Die Dampfelektrisirmaschine. In England war zufällig die 188
Entdeckung gemacht worden, daß ein Dampfkessel, aus welchem durch eine kleine Oeffnung Dampf mit Gewalt hervordrang, stark elektrisch war; durch weiteres Verfolgen dieser Entdeckung gelangte man dahin, aus einem Dampfkessel eine Elektrisirmaschine zu machen, deren Wirkung alle bis jetzt bekannten Elektrisirmaschinen weit hinter sich läßt. Fig. 395 (a. f. S.) stellt eine Maschine der Art von mittlerer Größe dar. Der Dampfkessel, welcher 44 Centimeter im Durchmesser hat und 96 Centimeter lang ist, ruht auf vier Glasfüßen. Die Heizung ist inwendig in der Weise wie bei den Dampfkesseln auf Dampfschiffen angebracht.

Oben auf dem Dampfkessel befindet sich ein Hut, auf welchem ein kurzes, durch einen Hahn verschließbares Messingrohr befestigt ist; auf dieses kurze Rohr

können dann die Ausſtrömungsöffnungen aufgeſchraubt werden, die alsbald näher beſchrieben werden ſollen.

Fig. 395.



Vor dem Hute ſieht man ein Sicherheitsventil, deſſen Gewicht verſchiebbar iſt, und welches ſo weit herausgerückt werden kann, daß der Dampf einen Druck von 90 Pfund auf den Quadratzoll ausüben muß, um das Ventil zu heben.

In Fig. 396 iſt der Apparat mit den Ausſtrömungsöffnungen abgebildet, welcher auf den Dampfkeſſel aufgeſchraubt wird, und zwar von oben geſehen.

Zunächst tritt der Dampf in das gußeiserne Rohr $b\,c$ und tritt dann durch sechs horizontale Röhren $d\,d$ aus, welche in einem Kasten F von Messingblech stecken, der mit kaltem Wasser gefüllt wird, um einen Theil des durch die Röhren strömenden Dampfes zu condensiren, was die Wirkung sehr verstärkt.

Auf eine Oeffnung o im oberen Deckel des Kastens F wird ein Messingrohr aufgesetzt, welches in den Schornstein führt und durch welches die im Kasten F gebildeten Dämpfe entweichen.

Fig. 397 stellt eine der Ausströmungsöffnungen im Durchschnitt und zwar in $^1/_2$ der natürlichen Größe dar. An das Ende des Rohres wird ein Messingstück $M\,N$ eingeschraubt, in welchem der das Ende der Ausströmungsröhre bildende Holzpflock $a\,b\,c\,d$ steckt. Dieser der Länge nach durchbohrte Holzcylinder wird durch einen in das Messingstück $M\,N$ eingeschraubten kurzen Messingcylinder r an seiner Stelle festgehalten. An diesem gleichfalls durchbohrten Cylinder r ist vorn vor seiner Oeffnung eine Messingplatte so angebracht, daß der Dampf den durch den Pfeil bezeichneten Umweg machen muß, um in die Ausströmungsöffnung zu gelangen.

Fig. 396.

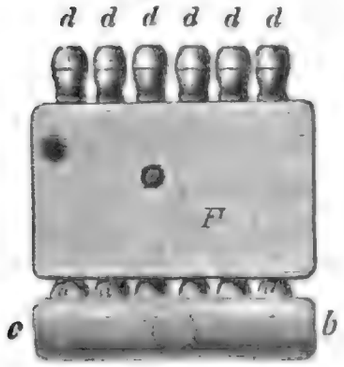
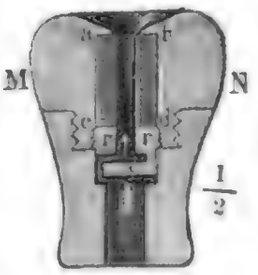


Fig. 397.



Wenn der Apparat Fig. 396 auf den Dampfkessel aufgeschraubt ist und der Dampf die nöthige Spannkraft hat, wird durch eine Viertelumdrehung des Handgriffes t, Fig. 395, der Absperrhahn geöffnet; der Dampf strömt mit Gewalt aus den sechs Oeffnungen hervor, und alsbald wird auch der Kessel elektrisch. Der entweichende Dampf hat die entgegengesetzte Elektricität wie der Kessel; um aber eine möglichst starke Wirkung zu erhalten, muß die Elektricität des Dampfes möglichst abgeleitet werden; dies geschieht dadurch, daß man in den Dampfstrom eine Reihe von Metallspitzen stellt, welche, an einem messingenen Conductor befestigt, mit dem Boden in leitender Verbindung stehen. Dieser Conductor steht auf einem Glasfuße, so daß man ihn isoliren kann, um zu zeigen, daß der Dampf in der That die entgegengesetzte Elektricität des Kessels hat.

Mit dieser Hydroelektrisirmaschine läßt sich eine Batterie (§. 192) von 36 Quadratfuß Oberfläche in Zeit von 30 Secunden vollständig laden.

Die Quelle dieser starken Elektricitätsentwickelung ist nicht etwa, wie man anfangs glaubte, die Dampfbildung selbst, sondern lediglich die Reibung des mit Wassertheilchen vermischten heftig ausströmenden Dampfes an den Wänden der Ausströmungsröhren. Daß dies wirklich der Fall ist, geht daraus hervor, daß augenblicklich alle Elektricität verschwindet, wenn man das Sicherheitsventil öffnet, obgleich die Dampfbildung ununterbrochen fortdauert.

Zur Erzeugung der Elektricität ist es wesentlich, daß schon condensirte Wassertheilchen durch den ausströmenden Dampf mit durch die Ausströmungsröhren durchgetrieben werden; deshalb der Condensationsapparat F, Fig. 396.

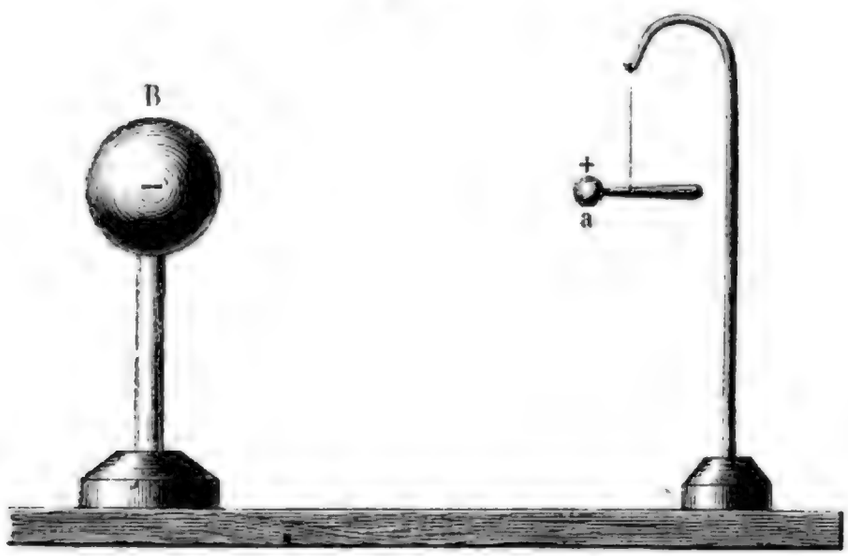
Wenn die Ausströmungsröhren lang genug sind, ist kein besonderer Abkühlungsapparat nöthig.

Wenn die Dampfmündung durch eine Holzröhre gebildet wird, wie es oben angegeben wurde, so ist der Kessel negativ, der Dampf positiv elektrisch; dasselbe ist der Fall bei Anwendung einer metallenen oder gläsernen Dampfmündung. Wendet man statt der hölzernen eine elfenbeinerne Röhre an, so zeigt der Kessel kaum Spuren einer Ladung.

Wenn man vor der Dampfmündung etwas Terpentinöl in die Ausströmungsröhre bringt, so wird der Kessel positiv und der Dampf negativ elektrisch.

189 **Abnahme der elektrischen Wirkungen mit zunehmender Entfernung.** Das Gesetz, nach welchem die elektrischen Anziehungen und Abstoßungen mit wachsender Entfernung abnehmen, läßt sich auf verschiedene Weise, z. B. auch durch die Oscillationen eines elektrischen Pendels nachweisen. Man läßt eine kleine Nadel von Schellack, die an einem Seidenfaden horizontal aufgehangen ist und welche an ihrem Ende eine kleine metallene Hohlkugel a, Fig. 398, trägt, unter dem Einflusse einer isolirten Kugel B

Fig. 398.



oscilliren, nachdem man sowohl der Kugel B als auch der kleinen Kugel a eine elektrische Ladung mitgetheilt hat. Sind a und B mit entgegengesetzten Elektricitäten geladen, so nimmt das Schellackstäbchen mit der Kugel a die in Fig. 398 angedeutete Stellung ein, sind aber a und B mit derselben Elektricität geladen, so wird das Schellackstäbchen eine solche Stellung einnehmen, daß a das von B abgewendete Ende desselben bildet. Etwas aus seiner Gleichgewichtslage in horizontaler Ebene entfernt wird nun das kleine horizontale Pendel um seine verticale Axe oscilliren, und aus der Schwingungsdauer kann man auf die Intensität der Wirkung schließen, welche die Elektricität, mit welcher B geladen ist, auf diejenige ausübt, welche a enthält.

Bezeichnen wir nun mit t die Schwingungsdauer des kleinen elektrischen Pendels für eine bestimmte Entfernung der beiden Kugeln, so wird man bei

gleicher Ladung die Schwingungsdauer nahe gleich $2t$, $3t \ldots nt$ finden, wenn der Abstand der beiden Kugeln 2mal, 3mal … $n$mal so groß ist.

Nun aber ist die Schwingungsdauer irgend eines Pendels stets der Quadratwurzel aus der beschleunigenden Kraft, welche es treibt, umgekehrt proportional, wir haben also:

$$t : nt = \sqrt{\frac{1}{v}} : \sqrt{\frac{1}{v'}},$$

wenn wir mit v die beschleunigende Kraft bezeichnen, welche auf das kleine Pendel bei einfachem, und mit v' diejenige, welche auf dasselbe bei dem $n$fachen Abstand der Kugeln a und B wirkt. Aus obiger Gleichung ergiebt sich aber

$$v' = \frac{v}{n^2}.$$

Die Intensität der elektrischen Wirkung zwischen den beiden Kugeln a und B nimmt also in demselben Verhältniß ab, in welchem das Quadrat ihrer Entfernung wächst, oder wie man es gewöhnlich kurz ausdrückt: sie verhält sich umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung.

Vertheilung der Elektricität auf der Oberfläche leitender Körper. 190 So lange ein Körper im natürlichen Zustande sich befindet, d. h. so lange die beiden elektrischen Fluida noch verbunden sind, sind sie wahrscheinlich ganz gleichförmig in der ganzen Masse des Körpers vertheilt. Sobald aber ein Leiter mit freier Elektricität geladen ist, wirken die einzelnen Theilchen dieser freien Elektricität abstoßend auf einander und entfernen sich deshalb so weit von einander, als nur irgend möglich ist, bis sie durch irgend ein Hinderniß aufgehalten werden. Ein vollkommen leitender Körper kann in seinem Inneren dieser Abstoßung kein Hinderniß entgegensetzen; die Elektricität wird sich deshalb auf seine Oberfläche begeben und würde sich noch weiter zerstreuen, wenn sich der Körper in einem für die Elektricität leicht durchdringlichen Raume befände. Die Elektricität verbreitet sich also stets auf der Oberfläche der Leiter und wird auf derselben durch die Luft zurückgehalten, welche sie gleichsam wie eine nicht leitende Schicht umgiebt.

Daß sich die freie Elektricität nur auf die Oberfläche der Körper und nicht im Inneren derselben verbreitet, läßt sich am einfachsten durch folgenden Versuch darthun:

Eine Kugel von Messingblech, welche oben mit einer Oeffnung versehen und durch einen Glasfuß isolirt ist, wie Fig. 399 (a. f. S.) zeigt, werde mit Elektricität geladen. Wenn man nun die äußere Oberfläche dieser Kugel an irgend einer Stelle mit einem Probescheibchen berührt, so wird dasselbe elektrisch, was nicht der Fall ist, wenn man mit dem Probescheibchen die innere Fläche der Hohlkugel berührt.

Es fragt sich nun, in welcher Weise sich die Elektricität auf der Oberfläche der Körper vertheilt.

Elektrisirt man eine isolirte Kugel, so erfordert schon das Gesetz der Sym-

metrie, daß sich die Elektricität auf der ganzen Oberfläche gleichförmig verbreitet, daß sie eine Schicht bildet, welche überall gleiche Dichtigkeit hat. Der Versuch bestätigt dies vollkommen. Wenn man einen isolirten kugelförmigen Leiter, welcher mit Elektricität geladen ist, mit dem Probescheibchen berührt und dessen Ladung an ein Elektroskop überträgt, so erhält man einen gleich großen Ausschlag, an welcher Stelle man auch die Kugel berühren mag.

Fig. 399.

Fig. 400.

Wenn der isolirte Leiter, den man elektrisirt, nicht kugelförmig ist, so findet auch keine gleichmäßige Vertheilung der Elektricität Statt, d. h. die elektrische Schicht, welche sich über den Körper verbreitet, hat nicht überall gleiche Dichtigkeit. Untersucht man z. B. mit Hülfe eines Probescheibchens die Dichtigkeit der Elektricität an verschiedenen Stellen eines eiförmigen isolirten Leiters, Fig. 400, so findet man, daß die Dichtigkeit der Elektricität am spitzen Ende bei *a* am größten, bei *b* aber am kleinsten ist.

Daß eine solche Vertheilung der Elektricität auf der Oberfläche von Körpern stattfinden müsse, welche nach verschiedenen Richtungen hin ungleiche Ausdehnung haben, läßt sich leicht einsehen; denn in Folge der gegenseitigen Abstoßung der einzelnen Theilchen des elektrischen Fluidums werden sie sich möglichst weit von der Mitte des Körpers entfernen, also vorzugsweise in den entferntesten Hervorragungen anhäufen.

Je mehr sich die Gestalt eines Körpers von der Kugelgestalt entfernt, desto ungleichförmiger vertheilt sich die Elektricität auf seiner Oberfläche, sie häuft sich an den von seiner Mitte entfernteren Enden am meisten an, und zwar um so mehr, je dünner sie sind. Es geht daraus hervor, daß, wenn man an einem isolirten Leiter eine Spitze anbringt, die Elektricität an dieser Spitze eine außerordentliche Dichtigkeit haben muß. Je dichter aber die Elektricität in einem Punkte ist, desto eher wird sie durch die Luft entweichen. Daher kommt es, daß aus Spitzen die Elektricität so leicht ausströmt. Man kann eine Menge

von Versuchen anstellen, durch welche dieses Vermögen der Spitzen bewiesen wird; wir wollen jedoch nur einige hervorheben.

1. Wenn man den Conductor einer Elektrisirmaschine mit einer Spitze versieht, so ist es unmöglich, ihn so zu laden, daß man aus ihm Funken ziehen könnte, namentlich, wenn man der Spitze einen nicht isolirten Leiter entgegenhält.

2. Wenn man eine Spitze, die mit dem Boden in leitender Verbindung steht, dem Conductor der Maschine nähert, so ist es gleichfalls unmöglich, ihn zu laden. Die Elektricität des Conductors zerlegt die verbundenen Elektricitäten der Spitze, sie stößt die gleichnamige ab und zieht die ungleichnamige an; diese ungleichnamige Elektricität häuft sich in der Spitze so stark an, daß sie nach dem Conductor überströmt, um seine Elektricität zu neutralisiren.

Auf die erwähnte Eigenschaft der Spitzen gründet sich auch die Construction der Blitzableiter.

Winkel und scharfe Kanten, die sich an leitenden Körpern befinden, wirken ganz auf dieselbe Weise wie die Spitzen. Man muß deshalb sorgfältig alle eckigen Formen vermeiden, wenn man Apparate construiren will, welche bestimmt sind, eine elektrische Ladung aufzunehmen und zu halten.

Gebundene Elektricität. Wir haben schon (§. 183) gesehen, daß ein 191
isolirter Leiter, welcher in der Nähe eines elektrischen Körpers steht, durch Vertheilung elektrisch wird, und daß er, mit dem Boden in leitende Verbindung gesetzt, doch mit derjenigen Elektricität geladen bleibt, welche der des vertheilenden Körpers entgegengesetzt ist. Wenn zwei isolirte Leiter einander nahe stehen, von welchen der eine mit $+E$, der andere mit $-E$ geladen ist, so wird jeder einen Theil der Elektricität auf dem anderen zurückzuhalten, d. h. zu binden im Stande sein. Je näher die beiden Elektricitäten einander gebracht werden, desto stärker ziehen sie sich an, desto vollständiger ist also auch ihre gegenseitige Bindung; wenn aber die beiden Leiter nur durch eine Luftschicht getrennt sind, so kann man sie einander nicht sehr nähern, ohne daß die Luftschicht durchbrochen wird und ein Funken überspringt. Wenn also die Bindung möglichst vollkommen sein soll, so müssen die beiden mit entgegengesetzten Elektricitäten geladenen Leiter nicht durch Luft, sondern durch einen anderen Isolator getrennt sein, welcher dem Uebergange der Elektricität einen größeren Widerstand entgegensetzt; man wählt dazu am besten Glas oder Harz.

Um die Erscheinungen der gebundenen Elektricität näher zu untersuchen, kann man die Franklin'sche Tafel benutzen, welche in Fig. 401 (a. f. S.) von vorn und in Fig. 402 von der Seite gesehen dargestellt ist. Sie besteht aus einer ungefähr 1 Quadratfuß großen Glasscheibe, deren Mitte auf jeder Seite mit Stanniol belegt ist, so daß das Glas an dem Rande ungefähr handbreit frei bleibt. An jeder Belegung ist ein elektrisches Pendel (ein an einem leinenen Faden hängendes Korkkügelchen) angebracht, wie es die Figuren zeigen.

Wenn man nun die vordere Belegung mit positiver, die hintere mit negativer Elektricität ladet, so sind die beiden entgegengesetzten Elektricitäten nur durch die Dicke der Glasscheibe von einander getrennt; die gegenseitige Bindung

kann also ziemlich vollständig sein. Diese Bindung macht es aber auch möglich, auf den Belegungen der Franklin'schen Tafel weit größere Elektricitätsmengen anzuhäufen, als außerdem möglich gewesen wäre, wie sich aus folgender Betrachtung ergiebt.

Fig. 401.

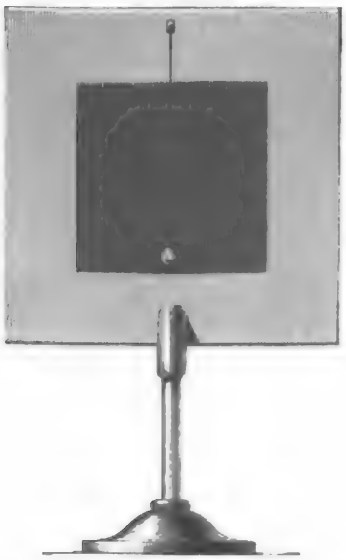
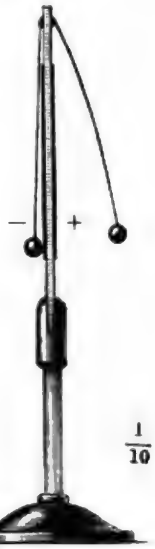


Fig. 402.



Es sei die vordere Belegung der Franklin'schen Tafel (etwa die auf der rechten Seite, Fig. 402) mit einer bestimmten Quantität positiver Elektricität geladen, die wir mit $+E$ bezeichnen wollen, so wird sich die hintere Belegung, wenn sie ableitend berührt ist, mit gebundener negativer Elektricität laden.

Die Quantität e der auf der Hinterfläche gebundenen negativen Elektricität ist aber gleich nE, wenn n einen ächten Bruch bezeichnet, welcher sich der Einheit um so mehr nähert, je dünner die Glasplatte ist.

Die negative Elektricität der hinteren Belegung wirkt aber bindend zurück auf die positive der vorderen, und zwar ist die Quantität, welche sie zu binden vermag, gleich ne oder gleich n^2E; es bleibt auf der vorderen Belegung also die Elektricitätsmenge

$$a = E - n^2E = E(1 - n^2) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

als freie Elektricität übrig.

Damit also auf der einen Belegung der Franklin'schen Tafel eine bestimmte Quantität Elektricität vollständig gebunden sei, muß sich auf der andern Belegung ein entsprechender Ueberschuß freier Elektricität des entgegengesetzten Zeichens befinden.

Während das elektrische Pendel auf derjenigen Seite der geladenen Franklin'schen Tafel frei vertical herabhängt, auf welcher alle Elektricität gebunden ist, wird das Pendel auf der anderen Seite, auf welcher sich ein Ueberschuß freier Elektricität befindet, abgestoßen, wie Fig. 402 zeigt.

Berührt man ableitend diejenige Belegung, auf welcher sich ein Ueberschuß freier Elektricität befindet, während die andere isolirt bleibt, so fällt an der erste-

ren das Pendel herab, während es an der letzteren steigt. So kann man abwechselnd auf der einen und dann wieder auf der anderen Seite der Franklin'schen Tafel den Ueberschuß freier Elektricität wegnehmen und so die Tafel nach und nach entladen.

Die Ladung der Franklin'schen Tafel wird dadurch bewerkstelligt, daß man die eine Belegung derselben mit dem Conductor der gedrehten Elektrisirmaschine, die andere mit dem Boden in leitende Verbindung setzt.

Die Gränze der Ladung der mit dem Conductor der Maschine verbundenen Belegung ist erreicht, wenn die Dichtigkeit der auf ihr vorhandenen freien Elektricitätsmenge a so groß geworden ist, daß ihr in jedem Moment gerade eben so viel Elektricität in die Umgebung entströmt, als ihr vom Conductor zugeführt wird.

Wenn die hintere Belegung der Tafel isolirt bleibt, so bleibt alle der vordern Belegung mitgetheilte Elektricität frei; die Gränze der Ladung wird in diesem Fall erreicht sein, sobald die oben mit a bezeichnete Elektricitätsmenge der vordern Belegung zugeführt worden ist, was schon mit 1 oder 2 Umdrehungen der Maschine erreicht wird.

Wenn aber die hintere Belegung ableitend berührt ist, so muß nach den obigen Betrachtungen die vordere Belegung eine viel größere Elektricitätsmenge E enthalten, wenn sich auf ihr die Quantität a an freier Elektricität befinden soll. Nach Gleichung 1) haben wir nämlich

$$E = \frac{a}{1 - n^2}.$$

Wäre z. B. die Glastafel so dick, daß $n = 0{,}95$, so würde

$$E = 10\,a$$

sein. Für den Fall also, daß die hintere Belegung ableitend berührt ist, würde eine 10mal so große Elektricitätsmenge auf der Franklin'schen Tafel angehäuft werden können, als für den Fall, daß die hintere Bewegung isolirt bliebe oder gar nicht vorhanden wäre.

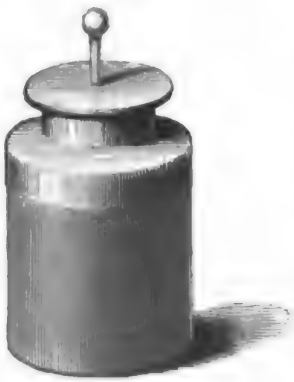
Wenn die hintere Belegung ableitend berührt ist, so bedarf es in der That eines längeren Drehens der Maschine, bis das Pendel an der vorderen Belegung durch sein Aufsteigen anzeigt, daß die Gränze der Ladung erreicht sei.

Die Leydner Flasche ist nur eine veränderte Form der Franklin'- 192
schen Tafel; sie besteht aus einem Glasgefäße, welches außen mit Stanniol überklebt ist, welche Belegung bis auf einige Zoll vom Rande hinaufreicht; innen ist das Gefäß auf ähnliche Weise mit einer Belegung versehen oder mit einer leitenden Substanz, etwa Eisenfeile oder Schrotkörnern, gefüllt. Die innere Belegung ist mit einem Messingstabe verbunden, welcher durch den Stopfen oder den Deckel des Gefäßes hindurchgeht und mit einem Knopfe endigt. Fig. 403 und 404 (a. f. S.) stellen zwei Formen der Leydner Flasche dar. Es ist gut, wenn der nicht belegte Theil des Glases gefirnißt ist. Um die Flasche zu laden, bringt man die äußere Belegung mit dem Boden, den Knopf mit dem Conductor der Maschine in leitende Verbindung.

Die Leydner Flaſchen entladen ſich manchmal von ſelbſt, indem entweder ein Funken von der äußeren Belegung zu dem Metallſtabe überſpringt, oder indem das Glas durchbrochen wird. Im letzteren Falle iſt die Flaſche natürlich für die Folge unbrauchbar.

Fig. 403.

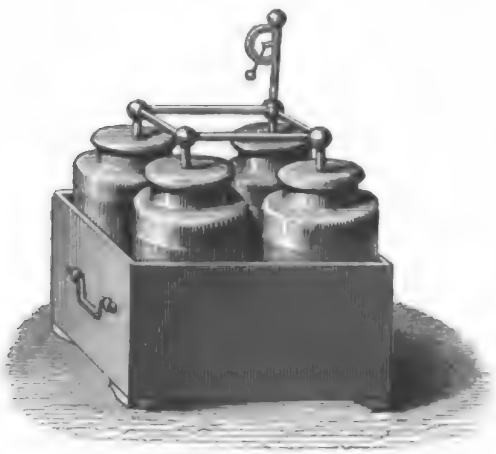
Fig. 404.



Wenn man zur Entladung der Flaſche mehrere Leiter zugleich anwendet, ſo theilt ſich der Entladungsſchlag im Verhältniſſe ihrer Leitungsfähigkeit. Drückt man z. B. mit der einen Hand einen Metalldraht an die äußere Belegung, ſo kann man ungeſtraft mit der anderen Hand das andere Ende des Drahtes an den Knopf halten; der Entladungsſchlag geht durch das Metall und nicht durch den Körper, weil das Metall ungleich beſſer leitet; der Draht darf jedoch nicht zu dünn ſein.

Um recht ſtarke Ladungen zu erhalten, muß man möglichſt große Flaſchen nehmen, oder man muß mehrere Flaſchen zu einer elektriſchen Batterie verbinden. Eine ſolche Batterie iſt in Fig. 405 dargeſtellt. Alle äußeren Belegungen der Flaſchen ſind unter ſich in leitender Verbindung, ebenſo alle inneren Belegungen.

Fig. 405.



Wenn der Entladungsſchlag einer Leydner Flaſche durch den menſchlichen Körper hindurchgeht, ſo bringt er auf das Gefühl eine eigenthümliche, ſchwer zu beſchreibende Empfindung, ein unwillkürliches Zucken der Nerven hervor. Am beſten macht man den Verſuch, wenn man mit einer Hand die äußere Belegung, mit der anderen den Knopf anfaßt. Bei ſchwächeren Ladungen iſt der Schlag nur in den Vorderarmen fühlbar; bei ſtärkeren fühlt man ihn auch im Oberarme, und wenn die Ladung noch ſtärker gemacht wird, ſo bringt der Schlag einen heftigen Schmerz in der Bruſt hervor. Sehr ſtarke Schläge können in der That gefährlich werden. Um kleinere Thiere, wie Vögel, Haſen u. ſ. w., durch den elektriſchen Schlag zu tödten, hat man noch nicht einmal größere Batterien nöthig, mit welchen

man selbst noch größere Thiere tödten kann. An den durch einen elektrischen Schlag getödteten Thieren hat man bei der anatomischen Untersuchung derselben bis jetzt noch keine Verletzung der Organe entdecken können; nach den Zuckungen aber, welche sie machen, wenn der Schlag nicht ganz hinreichend war, um sie zu tödten, kann man beurtheilen, wie heftig das Nervensystem angegriffen worden ist.

Wenn mehrere Personen eine Kette bilden, indem sie einander die Hände geben, und die erste die äußere Belegung der Flasche, die letzte den Knopf anfaßt, so fühlen alle den Schlag auf einmal.

Brennbare Flüssigkeiten kann man mit Hülfe der Leydner Flasche weit sicherer anzünden als mit dem directen Funken vom Conductor der Maschine. Selbst gepulvertes Colophonium, welches man auf Baumwolle streut, und Schießpulver kann man mit dem Entladungsfunken der Leydner Flasche entzünden.

Um eine Flasche oder eine Batterie bequem entladen zu können, wendet man den Auslader, Fig. 406, an. Die beiden Messingkugeln *a* und *b* sind am Ende zweier Messingarme befestigt, die bei *c* durch ein Charnier verbunden sind. Das Charnier sitzt auf einer Messinghülse, welche auf den isolirenden Glasstab *m* aufgekittet ist. Der Experimentator nimmt diesen Glasstab in die Hand, bringt die eine Kugel in leitende Verbindung mit der äußeren Belegung und nähert dann rasch die andere Kugel dem Knopfe der inneren Belegung.

Fig. 406.

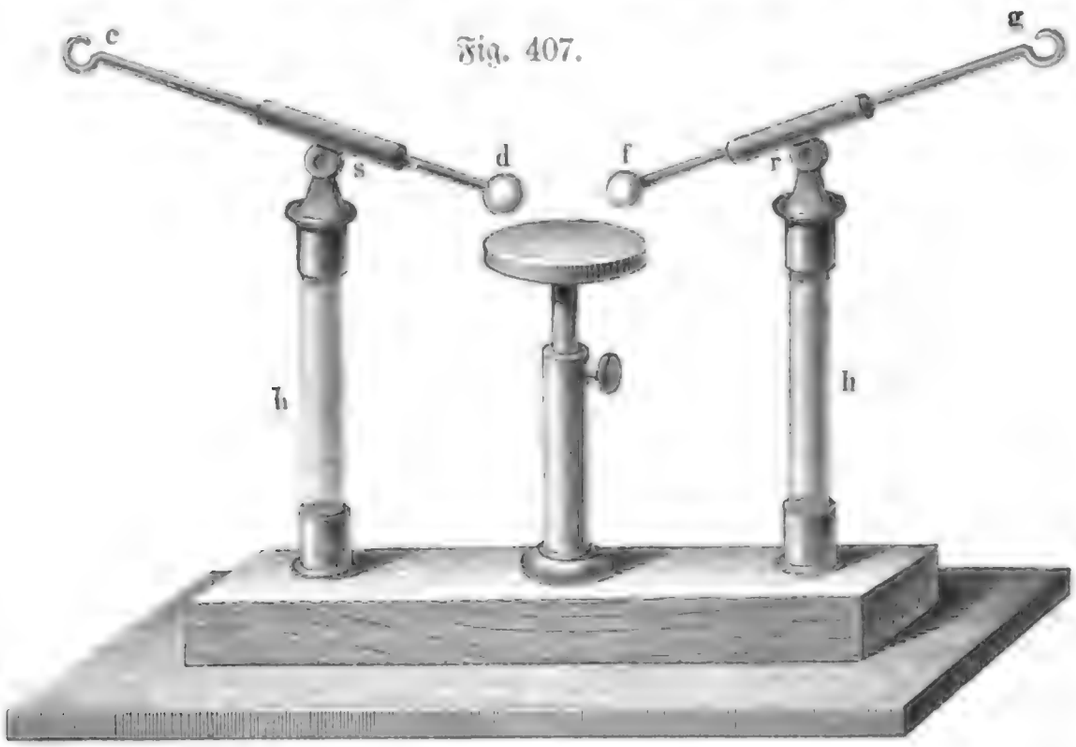
Um verschiedene Gegenstände bequem in den Weg des Entladungsschlages einschalten zu können, wendet man den Henley'schen Auslader, Fig. 407 (a. f. S.), an. Der Körper, durch welchen man den Schlag hindurchführen will, wird zwischen die Kugeln *d* und *f* gebracht, welche an die durch die Charniere *r* und *s* beweglichen und durch die Glassäulen *h* isolirten Messingstäbchen angeschraubt sind; *c* wird mit der äußeren Belegung der geladenen Flasche in Verbindung gebracht, *g* durch einen Draht oder ein Metallkettchen mit der Kugel *a* des Ausladers, Fig. 406, verbunden, und dann rasch die Kugel *b* desselben dem Knopfe der inneren Belegung genähert.

Wenn man die Kugeln *d* und *f* durch einen sehr dünnen Eisendraht verbindet, so wird dieser erwärmt, wenn ein schwacher Schlag hindurchgeht; eine stärkere Ladung macht ihn rothglühend, und eine noch stärkere macht, daß er in einzelnen geschmolzenen Kügelchen auseinanderfährt, die weithin fortgeschleudert werden.

Schlechte Leiter, welche den Weg des Entladungsschlages unterbrechen, werden, wenn die Anhäufung der Elektricität bedeutend genug ist, zertrümmert oder durchlöchert. Eine Holzscheibe z. B., welche 3 bis 4 Zoll Durchmesser hat und 3 bis 5 Linien dick ist, wird von dem Entladungsschlage durchbohrt.

Ebenso ein oder mehrere Kartenblätter, Pappendeckel u. s. w. Um den Versuch zu machen, bringt man den zu durchlöchernden Körper zwischen die beiden

Fig. 407.



Kugeln des Henley'schen Entladers, und zwar so, daß diese Kugeln den eingeschobenen Körper berühren.

193 **Der Condensator.** Eigentlich ist jeder Apparat ein Condensator, in welchem gebundene Elektricität angehäuft wird, also auch die Franklin'sche Tafel und die Leydner Flasche. Man wendet jedoch diese Benennung nur für solche Apparate an, welche dazu dienen, Elektricität von sehr geringer Spannung durch Verdichtung merklich zu machen. Im Wesentlichen bestehen alle Condensatoren aus zwei leitenden Platten, welche durch eine nichtleitende Schicht getrennt sind. Indem wir die unvollkommneren Instrumente der Art übergehen, soll hier nur von dem Condensator die Rede sein, wie man ihn in Verbindung mit dem Goldblattelektrometer anwendet. Auf das Goldblattelektrometer wird eine Metallplatte aufgeschraubt, wie man sie Fig. 408 sieht. Diese Platte ist möglichst eben abgeschliffen und auf ihrer oberen Fläche mit einer dünnen Schicht von Schellackfirniß versehen. Eine zweite auf dieselbe Weise präparirte Platte, welche mit einem isolirenden Stiele versehen ist, wird nun mit ihrer gefirnißten Fläche auf die andere gesetzt, so daß die beiden Metallplatten nur durch die dünne Firnißschicht getrennt sind, sonst aber so vollkommen als nur immer möglich auf einander passen. Die Anordnung entspricht der Franklin'schen Tafel vollkommen, die Glasplatte ist durch die dünne Schellackschicht ersetzt, die Platten dienen statt der Belegungen, nur kann man hier die obere Platte nach Belieben abheben, während die beiden Belegungen der Franklin'schen Tafel fest sind. Weil die isolirende Schicht sehr dünn ist, die Platten also einander sehr nahe sind, so ist hier die elektrische Bindung sehr stark. Bringt man die

untere Condensatorplatte mit einer Elektricitätsquelle von geringer Spannung in Berührung, während man die obere ableitend mit dem Finger berührt, so wird der Condensator ganz auf dieselbe Weise geladen, wie eine Leydner Flasche, deren äußere Belegung nicht isolirt ist, während die innere mit dem Conductor der Maschine in Verbindung steht. Der ganze Unterschied liegt nur darin, daß man einmal eine Elektricitätsquelle von großer, das andere Mal eine solche von geringer elektrischer Spannung hat; in beiden Fällen aber findet auf gleiche Weise eine Verdichtung der E Statt.

Fig. 408.

Ist der Condensator geladen, so wird die obere Platte abgehoben; dadurch wird die bis dahin gebundene E der unteren Platte frei, sie verbreitet sich über die Goldblättchen und bewirkt eine namhafte Divergenz, während die schwache Elektricitätsquelle ohne Vermittelung des Condensators keine merkliche Wirkung hervorbringen konnte. Weiter unten, bei der Lehre vom Galvanismus, werden wir verschiedene Anwendungen dieses Condensators kennen lernen.

Das elektrische Licht in der Luft und in anderen Gasen. 194 Die Schlagweite, auf welche hin man aus einem elektrisirten Körper einen Funken ziehen kann, hängt von der Leitfähigkeit der Substanz, von der Größe ihrer Oberfläche und von der Stärke der elektrischen Ladung ab. Aus eckigen Körpern und aus Spitzen strömt die Elektricität von selbst, schon bei ganz schwacher Spannung aus, und man beobachtet dabei im Dunkeln glänzende Lichtbüschel, die oft mehrere Zoll lang sind. Bei runden Körpern sind schon sehr starke Ladungen nöthig, wenn Büschel hervorsprühen sollen; wenn man ihnen aber einen mit dem Boden in Verbindung stehenden Leiter nähert, so springen Funken, nach Umständen selbst auf große Entfernungen über, die dann einen dem Blitze ähnlichen Zickzack bilden.

Will man die Funken vervielfältigen, so muß man den Leiter, durch wel-

Digitized by Google

chen die Elektricität in den Boden überſtrömt, oft unterbrechen; darauf beruhen mehrere Spielereien.

Blitzröhren ſind Glasröhren, auf welche man rautenförmige Stanniolblättchen ſo aufgeklebt hat, daß ihre einander zugekehrten Spitzen etwa ſo nahe ſtehen, wie man Fig. 409 ſieht. Gewöhnlich klebt man ſie ſo auf, daß ſie eine um die Röhre laufende Schraubenlinie bilden. Wenn man das eine Ende einer ſolchen Röhre in der Hand hält und das andere an den Conductor der Maſchine bringt, während ſie gedreht wird, ſo ſieht man im Dunkeln fortwährend zwiſchen je zwei Rauten Funken überſpringen, ſo daß eine faſt zuſammenhängende Lichtlinie auf der Röhre erſcheint.

Fig. 409.

Eine Blitztafel iſt Fig. 410 dargeſtellt. Auf eine Glastafel iſt eine Reihe von Stanniolſtreifen aufgeklebt, wie man es in der Figur ſieht, ſo daß von *a* bis *z* eine metalliſche Leitung ginge, wenn ſie nicht

Fig. 410.

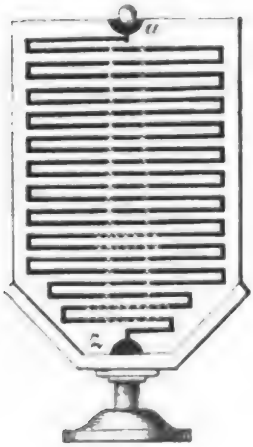
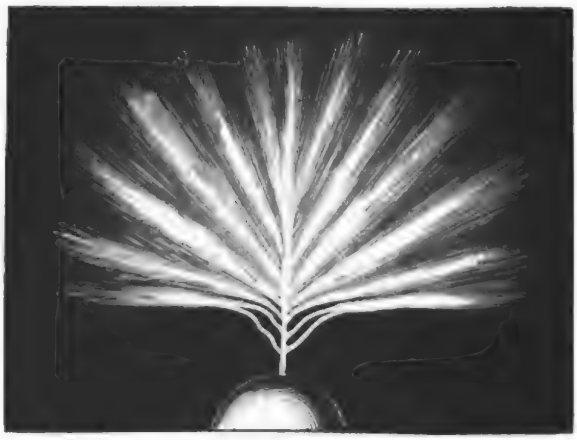


Fig. 411.



an den mit × bezeichneten Stellen unterbrochen wäre. Wenn man nun *z* mit der äußeren Belegung einer Leydner Flaſche in Verbindung bringt und dann eine leitende Verbindung zwiſchen *a* und dem Knopfe der Flaſche herſtellt, ſo ſpringen gleichzeitig an den Unterbrechungsſtellen Funken über. Man kann auf dieſe Weiſe Namenszüge und allerlei Figuren darſtellen.

Man hat dieſe Spielereien noch auf mannigfache Weiſe abgeändert; dieſe Beiſpiele mögen jedoch genügen.

Der Lichtbüſchel, welchen man im Dunkeln beobachtet, wenn man auf den Conductor der Elektriſirmaſchine eine Spitze aufſetzt, von welcher die Elektricität ausſtrömt, iſt in Fig. 411 dargeſtellt. Die negative (Harz-) Elektricität giebt niemals ſo divergente und große Lichtbüſchel wie die poſitive. Dieſes merkwürdige Phänomen iſt ſehr beachtenswerth, weil es einen unterſcheidenden Charakter der beiden elektriſchen Flüſſigkeiten darzubieten ſcheint.

Wenn man eine Metallſpitze in die Hand nimmt und ſie dem Conductor der Maſchine nähert, ſo beobachtet man auch den Lichtbüſchel.

In verdichteter atmoſphäriſcher Luft iſt der Funken einer Elektriſirmaſchine

Digitized by Google

sehr lebhaft, in Kohlensäuregas weiß und intensiv, in Wasserstoffgas roth und schwach, in Wasserdampf gelb, in Alkohol und Aetherdampf apfelgrün.

Die Lichterscheinungen der Maschinenelektricität sind eine treue, wenn auch schwache Nachbildung der elektrischen Lufterscheinungen, welche man bei Gewittern beobachtet.

Elektrisches Licht im verdünnten Raume. Im luftver- 195
dünnten Raume findet das Ueberspringen des elektrischen Funkens viel leichter und auf große Entfernungen Statt, wobei sich denn auch das Licht um so mehr ausbreitet, zugleich aber auch an Glanz verliert, je weiter die Luftverdünnung getrieben wird.

Um Versuche über das elektrische Licht im luftleeren Raume anzustellen, gebraucht man gewöhnlich das elektrische Ei, Fig. 412; es besteht aus einem elliptisch geformten Glasgefäß, welches oben und unten mit Metallfassungen versehen ist; die untere, welche mit einem Hahn *h* versehen ist und eine in das Glasgefäß hineinragende Kugel *a* trägt, kann auf die Luftpumpe aufgeschraubt und dann der innere Raum evacuirt werden. Die obere Fassung ist mit einer Stopfbüchse versehen, durch welche ein oben mit dem Ringe *c*, unten mit der Kugel *b* endigendes Messingstäbchen hindurchgeht. Durch Auf- oder Niederschieben dieses Stäbchens kann man die Entfernung der beiden Kugeln *a* und *b* beliebig ändern.

Fig. 412.

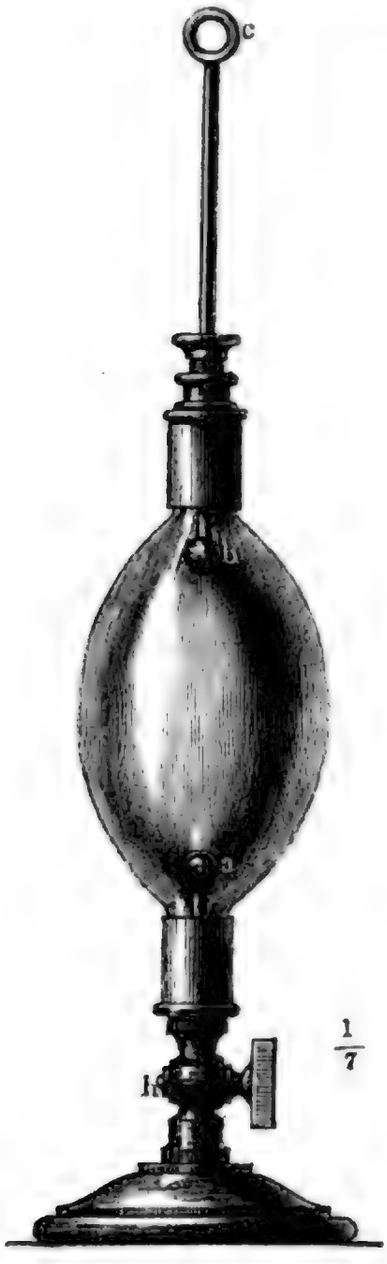
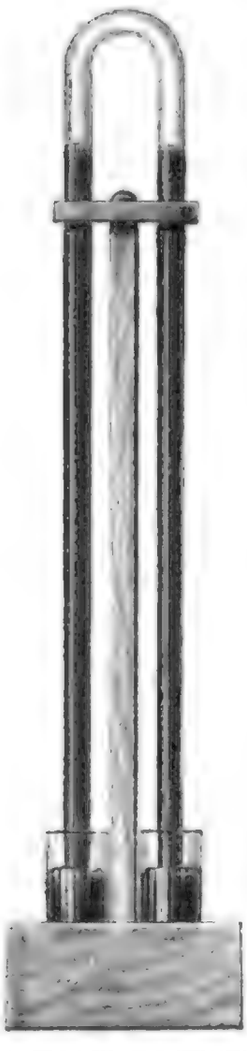


Fig. 413.



Ist der Apparat luftleer gemacht worden, so wird der Hahn *h* geschlossen und die untere Fassung mit dem Boden in leitende Verbindung gesetzt. Wenn man nun mittelst des Ausladers, Fig. 406, von dem Conductor der Elektrisirmaschine Funken auf den Ring überschlagen läßt, so strömen förmliche Lichtgarben zwischen den beiden Kugeln

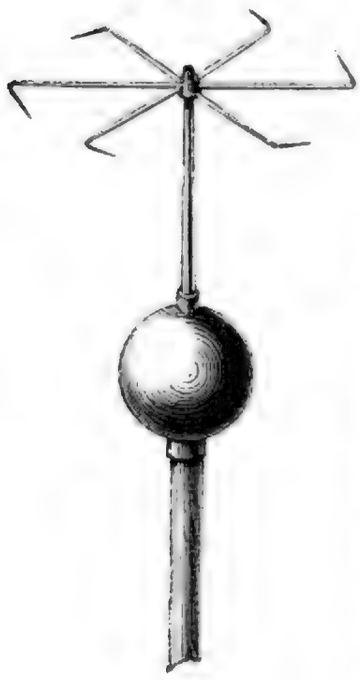
über, welche das Ei mit einem milden purpurfarbenen Lichte erfüllen. Läßt man allmälig Luft einströmen, so nimmt die Ausdehnung der Lufterscheinung mehr und mehr ab, sich mehr und mehr der gewöhnlichen Form des elektrischen Funkens nähernd.

Picard bemerkte zuerst, daß ein Barometer im Dunkeln leuchtet, wenn das Quecksilber auf und nieder schwankt, und bald überzeugte man sich, daß diese Erscheinung von der durch die Reibung des Quecksilbers an den Wänden der Röhre entwickelten Elektricität herrühre. Um das elektrische Licht in der Toricelli'schen Leere zu beobachten, construirte Cavendish das Fig. 413 (a. v. S.) dargestellte Doppelbarometer, dessen Anwendung wohl ohne weitere Erklärung verständlich ist.

196 **Der elektrische Geruch.** Wenn aus irgend einer Hervorragung am Conductor der Elektrisirmaschine die Elektricität ausströmt, so bemerkt man einen eigenthümlichen Geruch, den man den elektrischen Geruch nennt. Dieser Geruch rührt von einem eigenthümlichen Gase, dem Ozon, her, welches sich unter dem Einflusse der Elektricität bildet, und welches in seinem Verhalten viele Aehnlichkeit mit Chlor hat; es zersetzt z. B. wie das Chlor das Jodkalium; hält man gegen eine am Conductor der Maschine befindliche Spitze, welche einen Büschel und mit ihm den elektrischen Geruch giebt, ein Stück Papier, welches mit Jodkaliumkleister (Stärkekleister mit etwas Jodkalium) bestrichen ist, so wird der Kleister blau gefärbt, indem unter dem Einflusse des Ozons das Jodkalium zersetzt wird und das frei werdende Jod die Stärke blau färbt.

Auch ohne alle Elektricität, auf rein chemischem Wege läßt sich das Ozon erzeugen. Bringt man ein Stückchen Phosphor in ein Arzneiglas, in welchem sich so viel Wasser befindet, daß das Phosphorstück zur Hälfte herausragt, so zeigt die in der Flasche befindliche Luft nach einiger Zeit einen höchst intensiven Ozongeruch; hängt man einen Papierstreifen mit Jodkaliumkleister in die Flasche, so wird der Kleister blau.

Fig. 414.



Wahrscheinlich ist das Ozon eine eigenthümliche Modification des Sauerstoffs.

197 **Bewegungen, welche durch das Ausströmen von Elektricität hervorgebracht werden.** Die Anziehungs- und Abstoßungserscheinungen sind bereits besprochen worden; es bleiben hier nur noch einige andere durch die Elektricität bewirkte Bewegungen zu betrachten. Auf eine leitende Spitze, Fig. 414, welche mit dem Conductor der Maschine in Verbindung steht, ist ein aus Metalldrähten gebildetes, leicht in horizontaler Ebene umdrehbares Rädchen aufgesetzt. Die zugespitzten Enden der Drähte sind, von der Mitte aus gesehen, alle nach derselben Richtung umgebogen. Ein solcher

Apparat führt den Namen eines elektrischen Flugrades. Sobald die Maschine gedreht wird, beginnt das Flugrad zu rotiren, und wenn man es im Dunkeln beobachtet, sieht man an den Spitzen die Elektricität in Gestalt von Lichtbüscheln ausströmen.

Diese Bewegung wird durch das Ausströmen des elektrischen Fluidums aus den Spitzen hervorgebracht und ist eine der Umdrehung der Segner'schen Wasserräder ganz entsprechende Erscheinung.

Bewegungen durch den elektrischen Rückschlag. 198

Froschschenkel, die in der Nähe eines Conductors einer Elektrisirmaschine aufgehängt sind, scheinen gar keine Veränderung zu erleiden, wenn durch Drehen der Maschine der Conductor mit $+ E$ geladen wird; ein solcher Froschschenkel aber wird durch Vertheilung geladen, wenn er an einer leitenden Schnur aufgehängt ist. Sobald man nun aus dem Conductor einen Funken zieht, bringt die plötzliche Wiedervereinigung der Elektricitäten in dem Froschschenkel Zuckungen hervor, ein Beweis, daß bei der Rückkehr in den natürlichen Zustand die Moleküle durch den Druck der elektrischen Flüssigkeiten afficirt werden, welche sich wieder zu vereinigen streben. Diese Wirkungen werden mit dem Namen des Rückschlags bezeichnet. Der Versuch gelingt nur mit einem eben getödteten oder noch besser mit einem noch lebenden Frosche.

In der Nähe einer kräftigen Maschine empfindet auch ein Mensch, der mit dem Boden in leitender Verbindung steht, ähnliche Schläge. Ebenso wirken auch die Entladungen der Gewitterwolken; sie können nämlich durch einen directen Schlag und durch den Rückschlag wirken.

Drittes Capitel.

Vom Galvanismus.

199 **Galvani's Entdeckung.** Im Jahre 1789 machte Galvani zu Bologna eine Entdeckung, durch welche ein ganz neues Feld für die Physik eröffnet wurde. Diese Entdeckung war die Beobachtung der scheinbar unbedeutenden Thatsache, daß frisch präparirte Froschschenkel, mittelst kupferner Häkchen an einem eisernen Balkongeländer aufgehangen, in Zuckungen geriethen, so oft die Schenkelmuskeln durch den Wind mit dem eisernen Geländer in Berührung gebracht wurden. Das kupferne Häkchen war mit den Schenkelnerven in Berührung.

Fig. 415.

Man glaubte anfangs, diese Erscheinung durch eine Art Nervenflüssigkeit erklären zu können, welche dem elektrischen Fluidum ähnlich sein sollte; man dachte sich den organischen Körper in Beziehung auf diese Flüssigkeit ungefähr wie eine Leydner Flasche, deren Belegungen einerseits die Nerven, andererseits die Muskeln sind. Eine Entladung sollte stattfinden, sobald Nerven und Muskeln in leitende Verbindung gebracht werden, was bei dem Versuche Galvani's durch die Kupferhäkchen und das eiserne Geländer der Fall war.

Alexander Volta wiederholte Galvani's Versuche mit unermüdlicher Aufmerksamkeit und fand bald, daß ein zum Gelingen des Versuches sehr wichtiger Umstand bis dahin ganz übersehen worden war. Um nämlich eine starke Wirkung zu haben, ist es durchaus nöthig, daß der Leitungsbogen, welcher die Nerven und Muskeln verbindet, aus zwei verschiedenen Metallen besteht, welche mit einander in Berührung sind.

Den Galvani'schen Fundamentalversuch kann man leicht in folgender Weise anstellen: Man präparire den Unterschenkel eines frisch getödteten und enthäuteten Frosches

so, daß noch ein möglichst großes Stück des zum großen Wadenmuskel *e* führenden Nerven daran bleibt, wie Fig. 415 zeigt. Legt man dieses Präparat auf eine Glasplatte, berührt man dann das Muskelfleisch mit einem Streifchen Zinkblech, den Nerven mit einem Stücke Kupferdraht, so zuckt der Schenkel, sobald man die beiden Metalle in Berührung bringt.

Volta behauptete nun, daß der Froschschenkel nicht wie eine Leydner Flasche zu betrachten sei, daß die hier wirkende Elektricität weder in den Nerven noch in den Muskeln, sondern durch die Berührung der beiden Metalle entwickelt werde und daß sie mit dem gewöhnlichen elektrischen Fluidum vollkommen identisch sei.

Volta's Fundamentalversuch. Den Beweis, daß die Berührung verschiedener Metalle die Quelle einer Elektricitätsentwickelung sei, suchte Volta mit Hülfe des in §. 193 besprochenen Condensators und zwar in folgender Weise zu führen, welche man mit dem Namen des Volta'schen Fundamentalversuchs bezeichnet. 200

Nachdem man die beiden aus Kupfer oder Messing verfertigten Condensatorplatten gehörig auf einander gesetzt hat, wird die untere mit einem in der Hand gehaltenen Stück Zink, die andere aber ableitend mit dem Finger berührt, wie Fig. 416 zeigt. Zieht man nun, nachdem die Berührung nur kurze Zeit gedauert hat, den Finger von der oberen, das Zink von der unteren Platte zurück, hebt man darauf die obere Condensatorplatte ab, so erhält man eine merkliche Divergenz der Goldblättchen, und zwar divergiren sie mit negativer Elektricität.

Fig. 416.

Nach Volta ist der Sitz der Elektricitätsentwickelung, welche durch diesen Versuch nachgewiesen wurde, die Berührungsstelle zwischen Kupfer und Zink. Der Volta'sche Fundamentalversuch läßt sich aber auch durch die Annahme erklären, daß der Sitz der Elektricitätsentwickelung in der Berührungsstelle des Zinks mit der mehr oder weniger feuchten Hand zu

ſuchen ſei. In der That gelingt der Verſuch weit ſicherer, wenn man die Hand mit etwas Salzwaſſer befeuchtet.

Daß wirklich an der Berührungsſtelle von Metallen mit reinem oder geſäuertem Waſſer eine Elektricitätsentwickelung ſtattfindet, wird durch folgenden Verſuch bewieſen:

Auf ein Goldblattelektrometer ſchraube man eine (ungefirnißte) Zinkplatte, auf welche eine etwas überragende, möglichſt dünne Glasplatte gelegt wird, wie Fig. 417 zeigt. Auf die Glasplatte wird eine Scheibe Löſchpapier gelegt, welche mit der Zinkplatte ungefähr gleichen Durchmeſſer hat, und dieſes Papier mit etwas geſäuertem Waſſer befeuchtet. Bringt man nun die Zinkplatte mit der feuchten Scheibe nur auf ganz kurze Zeit durch einen Zinkdraht in Berührung, ſo erhält man eine Divergenz der Elektrometerpendel, wenn man nach Entfernung des Drahtes die Glasplatte abhebt, und zwar zeigt ſich das Elektroſkop mit negativer Elektricität geladen.

Fig. 417.

Dieſer Verſuch zeigt zweifellos, daß Zink in Berührung mit geſäuertem Waſſer eine negativ elektriſche Ladung annimmt.

Der Erfolg des Volta'ſchen Fundamentalverſuchs läßt ſich alſo auch ſo erklären, daß die negativ-elektriſche Ladung, welche das Zink durch Berührung mit der feuchten Hand annimmt, auf die Condenſatorplatte übergeht, ohne daß man eine weitere Elektricitätsentwickelung an der Berührungsſtelle des Zinks mit dem Kupfer (oder Meſſing) anzunehmen nöthig hätte.

Die Elektricitätserregung durch Berührung von Metallen und Flüſſigkeiten iſt zweifellos nachgewieſen. Ob aber auch bei der Berührung verſchiedenartiger Metalle Elektricität entwickelt werde oder ob ſich die Verſuche, welche dies beweiſen ſollen, nicht auch noch auf andere Weiſe erklären laſſen, darüber ſind die Phyſiker noch nicht einig. Jedenfalls aber läßt ſich die Theorie der Volta'ſchen Säule, welche in §. 202 beſprochen werden wird, viel leichter und einfacher entwickeln, wenn man die in derſelben auftretende Elektricität nur aus der Berührung zwiſchen den Metallen und der Flüſſigkeit ableitet, als wenn man außerdem auch noch eine Elektricitätsentwickelung an der Berührungsſtelle verſchiedenartiger Metalle annimmt.

Aus dieſem Grunde wird in den folgenden Paragraphen von einer Elektricitätsentwickelung durch Berührung heterogener Metalle keine Rede mehr ſein.

201 **Die elektromotoriſche Kraft.** Wenn man den durch Fig. 417 erläuterten Verſuch in der Weiſe wiederholt, daß man die Zinkplatte durch eine

Kupferplatte und den Zinkdraht durch einen Kupferdraht ersetzt, so findet man, daß das Kupfer in Berührung mit dem gesäuerten Wasser ebenfalls negativ elektrisch wird, wenn auch in weit geringerem Grade als es beim Zink der Fall war.

Wiederholt man den Versuch in gleicher Weise mit einer Platinplatte und mit einem Platindraht, so nimmt das Platin in Berührung mit der verdünnten Schwefelsäure eine positive Ladung an.

Bezeichnet man mit — 1 die elektrische Ladung, welche Kupfer in Berührung mit stark verdünnter Schwefelsäure annimmt, so ist ungefähr

	— 10	die elektrische Ladung, welche			Zink,
	— 5	„	„	„	Eisen, und
	+ 2,5	„	„	„	Platin

in Berührung mit derselben Flüssigkeit erhielt.

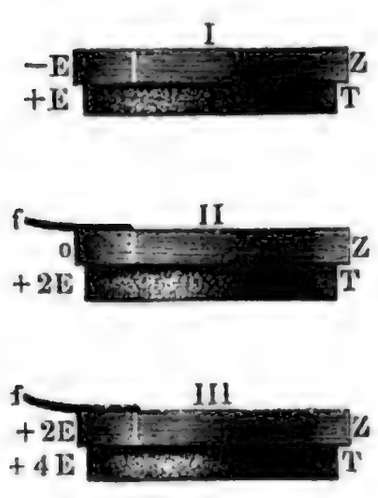
An der Berührungsfläche eines Metalls und einer Flüssigkeit ist also eine Kraft thätig, welche man als elektromotorische Kraft bezeichnet und welche die Zerlegung der bis dahin verbundenen Elektricitäten in ähnlicher Weise bewerkstelligt, wie man es an der Berührungsfläche geriebener Körper beobachtet.

Die Art und die Stärke des elektrischen Gegensatzes, in welchen die beiden in Berührung gebrachten Körper treten, hängt von ihren chemischen Eigenschaften ab. Im Allgemeinen werden diejenigen Metalle in Berührung mit einer bestimmten Flüssigkeit am stärksten negativ erregt, welche am stärksten von derselben angegriffen werden.

Die elektromotorische Kraft, welche den elektrischen Gegensatz der beiden sich berührenden Stoffe hervorruft, bewirkt auch, daß dieser Gegensatz unter allen Umständen in unveränderter Stärke erhalten bleibt. — Wenn also z. B. Zink und verdünnte Schwefelsäure mit einander in Berührung sind, so wird das Zink stets um eine bestimmte Größe mehr negativ, oder, was dasselbe ist, weniger positiv elektrisch sein als die Flüssigkeit.

Wird auf eine isolirte, mit verdünnter Schwefelsäure getränkte Tuchscheibe *T*, Fig. 418 I, eine Zinkplatte gelegt, so wird die Tuchscheibe positiv, die Zinkplatte negativ elektrisch erregt. Bezeichnen wir die positive Ladung, welche unter diesen Umständen die Tuchscheibe annimmt, mit + *E*, so ist die über die Zinkplatte sich verbreitende Ladung negativer Elektricität gleich — *E*.

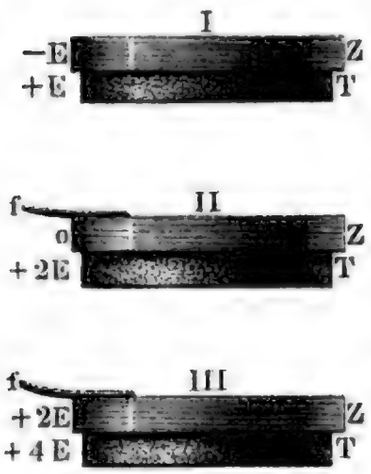
Fig. 418.



In diesem Falle ist die elektrische Differenz der beiden Platten gleich 2 *E*, d. h. die Zinkplatte ist um eine mit 2 *E* bezeichnete Größe stärker negativ elektrisch, oder, was dasselbe ist, um 2 *E* weniger stark positiv elektrisch geladen, als die Tuchscheibe, und diesen Gegensatz behält das Scheibenpaar bei, wie viel Elektricität man auch von außen her zuführen

mag. Alle von außen her zugeführte Elektricität wird sich frei über das ganze Scheibenpaar verbreiten.

Fig. 419.



Wird dem Scheibenpaar von außen her eine solche Menge positiver Elektricität zugeführt, daß sich die Ladung $+E$ über das Ganze verbreitet, so wird die Ladung der Zinkplatte $-E+E=0$, die der Zinkscheibe $+E+E=2E$.

Denselben Erfolg würde es haben, wenn man die Zinkplatte ableitend berührt, Fig. 219 II, und ihr dadurch ihre negative Ladung $-E$ entzieht. Die Ladung der Zinkscheibe würde alsdann gleich 0, die der Tuchscheibe gleich $+2E$, da dieselbe unter allen Umständen um die Größe $2E$ stärker positiv elektrisch geladen sein muß.

Wird dem Scheibenpaar, Fig. 419 I, von außen her die Ladung $+3E$ zugeführt, so wird die elektrische Ladung der Zinkscheibe gleich $+2E$, die der Tuchplatte $+4E$ werden (Fig. 419 III); kurz die elektrische Differenz der beiden Scheiben wird stets dieselbe bleiben.

Die Volta'sche Säule. Die elektrische Spannung, welche eine Metallplatte in Berührung mit einer Flüssigkeit annimmt, ist so gering, daß es eines guten, mit einem Goldblattelektroskop verbundenen Condensators bedarf, um dieselbe nachzuweisen. Volta hat aber gezeigt, daß sich diese elektrische Spannung dadurch steigern lasse, daß man immer in gleicher Ordnung zwei verschiedenartige Metallplatten und feuchte Scheiben auf einander legend eine Säule aufbaut.

Zum Aufbau seiner Säule wandte Volta Kupferplatten, Zinkplatten und Tuchscheiben an, welche mit gesäuertem Wasser oder mit Salzwasser getränkt waren.

Wenn eine Kupferplatte K, Fig. 420, auf welcher eine mit gesäuertem Wasser getränkte Tuchscheibe T liegt, durch einen Kupferdraht mit dem Boden in leitende Verbindung gebracht wird, so wird ihr alle freie Elektricität entzogen, die elektrische Ladung der Tuchscheibe aber wird $+e$, wenn wir mit e die elektrische Differenz zwischen dem Kupfer und der Flüssigkeit bezeichnen. Wird auf die feuchte Tuchscheibe nun eine Zinkplatte gelegt, so nimmt diese die elektrische Ladung $-9e$ an, da ja die elektrische Differenz zwischen Zink und dem gesäuerten Wasser 10mal so groß ist als die zwischen Kupfer und der Flüssigkeit.

Fig. 420.

Eine derartige Combination einer Kupferplatte und einer Zinkplatte, zwischen denen eine feuchte Scheibe liegt, wird ein Volta'sches Element genannt.

Wird auf das erste Volta'sche Element in gleicher Ordnung ein zweites gelegt, wie Fig. 421 zeigt, so geht negative Elektricität von der Zinkplatte Z auf das obere Volta'sche Element über, während eine gleiche Menge positiver Elektricität durch den Draht f abgeleitet wird. Die zwischen der Flüssigkeit der Tuchscheibe T und den beiden sie berührenden Metallplatten thätige elektromotorische Kraft ersetzt aber alle abströmende Elektricität der Art, daß der elektrische Zustand des untersten Volta'schen Elementes unverändert erhalten bleibt, daß also die Zinkplatte Z die elektrische Ladung $-9e$ beibehält.

Fig 421.

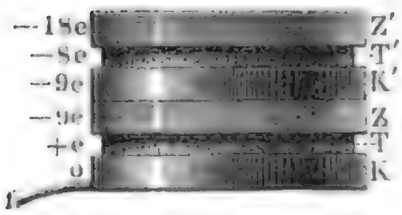
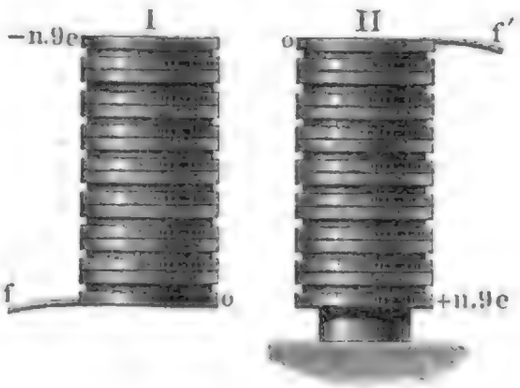


Fig. 422.



Ein elektrisches Gleichgewicht wird aber erst dann eintreten können, wenn auf das obere Volta'sche Element so viel negative Elektricität übergegangen ist, daß auch die Kupferplatte K' gleichfalls die Ladung $-9e$ angenommen hat. Alsdann aber wird die Ladung

der Tuchscheibe T' gleich $-9e + e = -8e$

die der Zinkscheibe Z' gleich $-8e - 10e = -18e$ sein.

Die negativ elektrische Ladung der Zinkplatte Z' in der Combination Fig. 421 ist also doppelt so groß als die Ladung der Zinkplatte Z eines einfachen Volta'schen Elementes, Fig. 420.

Auf gleiche Weise kann man weiter schließen, daß wenn man 3, 4, 5 ... n Volta'sche Elemente in gleicher Ordnung auf einander baut und die unterste Kupferplatte ableitend berührt, daß alsdann die negativ elektrische Ladung der obersten Zinkplatte 3, 4, 5 ... $n$mal so groß sein wird, als für ein einzelnes Volta'sches Element.

Die Richtigkeit dieses Satzes läßt sich leicht mittelst eines mit einem guten Condensator versehenen Goldblattelektrometers auch experimentell bestätigen.

Fig. 422 stellt zwei in ganz gleicher Weise aufgebaute Säulen dar, deren jede aus n Volta'schen Elementen besteht. Bei der ersten sei die unterste Kupferplatte ableitend berührt, so ist hier die Spannung der freien Elektricität gleich 0, am oberen Ende der Säule I aber ist sie, wie wir gesehen haben, gleich $-n.9e$. Wenn nun aber die unterste Kupferplatte der Säule II isolirt ist (wenn sie also etwa auf einer Glasplatte liegt), während die oberste Zinkplatte derselben ableitend berührt ist, so ist klar, daß die Spannung der freien Elektricität am obern Ende der Säule II gleich 0, am untern Ende derselben dagegen gleich $+n.9e$ ist.

Wird nun die Säule I so auf die Säule II gesetzt, daß die ableitend be-

Fig. 423

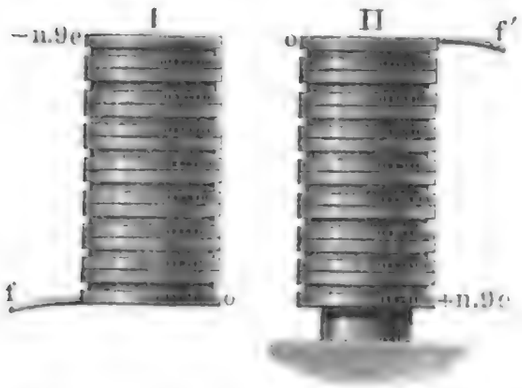
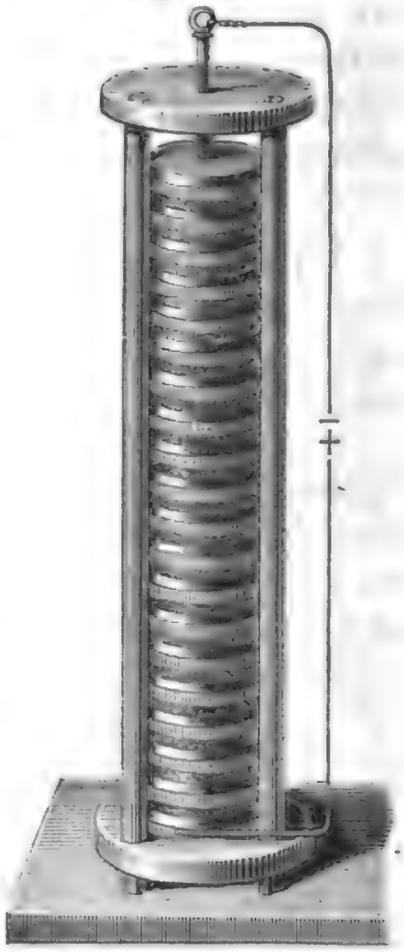


Fig. 424.



rührte Kupferplatte von I auf die ableitend berührte Zinkplatte von II zu liegen kommt, und alsdann die ableitenden Drähte entfernt, so haben wir nun eine einzige Säule von $2n$ Plattenpaaren, welche vollständig isolirt ist, und welche an ihrem Zinkende die negativ elektrische Ladung $-n.9e$, an ihrem andern Ende aber die positiv elektrische Ladung $+n.9e$ hat.

Das Zinkende dieser Säule führt den Namen des negativen, das Kupferende den des positiven Pols.

Die Volta'sche Säule wird gewöhnlich zwischen drei in einem Brett von trockenem Holze befestigten Stäben von Glas aufgebaut, wie Fig. 424 zeigt.

Um eine innigere Berührung der zusammengehörigen Kupfer- und Zinkplatten zu erzielen, werden dieselben zusammengelöthet.

Wenn beide Pole der Volta'schen Säule isolirt sind, oder wenn nur der eine isolirt und der andere ableitend berührt ist, so sagt man, die Säule sei offen. An den isolirten Polen der offenen Säule lassen sich elektrische Spannungserscheinungen beobachten, welche um so kräftiger sind, je größer die Anzahl der Plattenpaare ist.

Wenn die beiden Pole der Volta'schen Säule in leitende Verbindung gebracht werden, so ist die Säule (oder wie man auch öfters sagt: die Kette) geschlossen. Von dem positiven Pol strömt nun die positive Elektricität durch den Schließungsbogen fortwährend nach dem negativen Pole hin, während die negative Elektricität den Schließungsbogen in entgegengesetzter Richtung durchströmt; in der Säule selbst aber strömt positive Elektricität beständig dem positiven, negative Elektricität dem negativen Pole zu.

Die Wirkungen dieser elektrischen Strömungen, welche man gewöhnlich als galvanische Ströme bezeichnet, werden wir später besprechen.

Jede Vorrichtung, mit Hülfe deren man einen fortdauernden elektrischen

Strom erzeugen kann, wird ein Rheomotor (Stromerzeuger) genannt. Stromerzeugende Apparate, welche nach dem Princip der Volta'schen Säule construirt sind, werden häufig auch als galvanische Batterien oder als galvanische Ketten bezeichnet. Die elektrischen Ströme, welche sie liefern, werden, da wässerige Flüssigkeiten einen wesentlichen Bestandtheil dieser Batterien bilden, auch hydro-elektrische Ströme genannt.

Die trockene Säule. Ganz nach dem Princip der Volta'schen 203
Säule hat Zamboni eine Säule construirt, in welcher der feuchte Leiter durch eine Papierscheibe ersetzt ist, und welche deshalb die trockene Säule genannt wird.

Man kann die trockenen Säulen am leichtesten aus unächtem Gold- und Silberpapier construiren. Zu diesem Zwecke klebt man immer einen Bogen unächten Silberpapiers (Zinn) und einen Bogen unächten Goldpapiers (Kupfer) mit der Papierseite zusammen, so daß man also ein Papierblatt hat, welches auf der einen Seite mit Kupfer, auf der anderen mit Zinn überzogen ist. Aus den so zusammengeklebten Bogen werden dann die Scheibchen ausgeschnitten. Gewöhnlich sind die trockenen Säulen in wohlgefirnißte Glasröhren gefaßt, die an beiden Enden mit Metallkappen versehen sind, wie Fig. 425 zeigt. Um die vollständige Berührung der Plattenpaare zu sichern, müssen die Scheibchen in der Glasröhre auf einander gepreßt werden.

Fig. 425.

Die trockene Säule bringt vorzugsweise Spannungserscheinungen, aber keine merklichen Stromwirkungen hervor, wie wir sie bei der gewöhnlichen Volta'schen Säule bald werden kennen lernen. Eine Zamboni'sche Säule von 80 bis 100 Paaren bringt bereits ohne Condensator eine Divergenz am Goldblattelektrometer hervor. Mit einer solchen Säule von mehreren Tausend Paaren kann man selbst eine recht dünnglasige Leydener Flasche laden.

Wenn man zwei Zamboni'sche Säulen neben einander aufbaut, so daß der positive Pol der einen und der negative Pol der anderen nach oben gerichtet ist, so wird ein leichtes Pendel zwischen beiden Polen beständig hin und her oscilliren müssen. Darauf gründet sich das sogenannte elektrische perpetuum mobile.

Ein zwischen zwei solchen Zamboni'schen Säulen hängendes Goldblättchen wird nach dem einen oder dem anderen Pole hin ausschlagen, wenn es nur eine ganz schwache positive oder negative Ladung erhält. Darauf gründet sich die Construction des Bohnenberger'schen Elektroskops.

Verschiedene Formen der galvanischen Kette. Die 204
oben besprochene Volta'sche Säule war der erste Apparat mit Hülfe dessen man continuirliche hydroelektrische Ströme erzeugte. Allein diese Form bietet mannigfache Mißstände. Die unteren Scheiben nämlich sind durch das Gewicht

der oberen ſtärker zuſammengedrückt; die feuchten Scheiben werden dadurch ausgepreßt, ſie werden trocken, während die Flüſſigkeit an der Seite der Säule herunterrinnt; dadurch wird aber eine leitende Verbindung zwiſchen den einzelnen Plattenpaaren hervorgebracht, welche den Totaleffect ſchwächt.

Der Trogapparat, welcher längere Zeit im Gebrauche war, iſt Fig. 426 und Fig. 427 dargeſtellt. Die einzelnen Elemente beſtehen aus rechtwinkligen

Fig. 426.

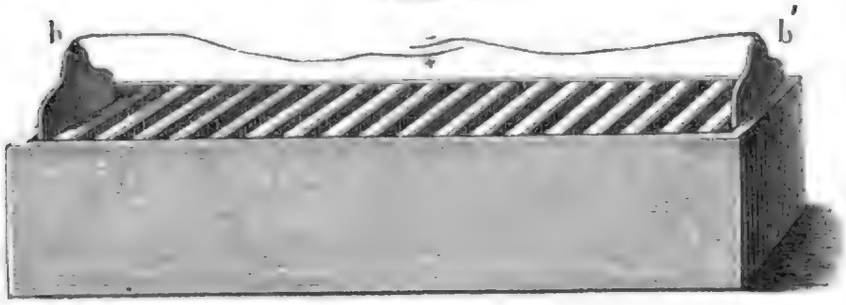
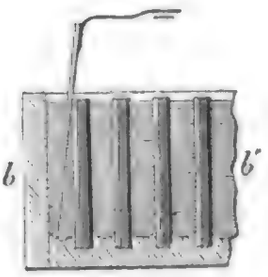


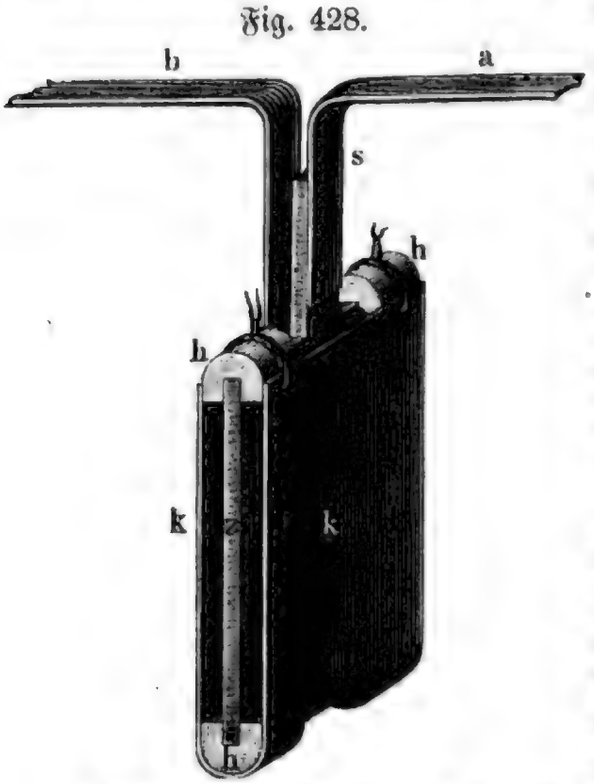
Fig. 427.



Platten von Kupfer und Zink, welche auf einander gelöthet ſind. Dieſe Plattenpaare ſind nun einander parallel in einem Kaſten von Holz, $b\,b'$, deſſen Wände inwendig mit einer nichtleitenden Harzſchicht überzogen ſind, ſo befeſtigt, daß der Zwiſchenraum zwiſchen je zwei Plattenpaaren eine Zelle, einen Trog bildet, der mit geſäuertem Waſſer gefüllt wird. Dieſe Waſſerſchicht, welche ungefähr 3 Linien dick iſt, vertritt hier die Stelle der feuchten Scheibe.

Weit bequemer für den Gebrauch iſt die Wollaſton'ſche Batterie. Fig. 428 ſtellt ein Plattenpaar derſelben dar. Die Zinkplatte z iſt nach oben durch einen Streifen verlängert, an den bei s ein Streifen a von Kupferblech angelöthet iſt, welcher zur Kupferplatte des folgenden Plattenpaares führt. Um die Zinkplatte herum iſt eine Kupferplatte k gebogen, ſo daß jeder Seite von z eine Kupferfläche gegenüberſteht, ohne daß eine metalliſche Berührung zwiſchen ihnen ſtattfände, welche am zweckmäßigſten durch Holzklötzchen h verhindert wird. — Von der Kupferplatte k führt ein Kupferſtreifen b zur Zinkplatte des vorhergehenden Plattenpaares.

Fig. 428.

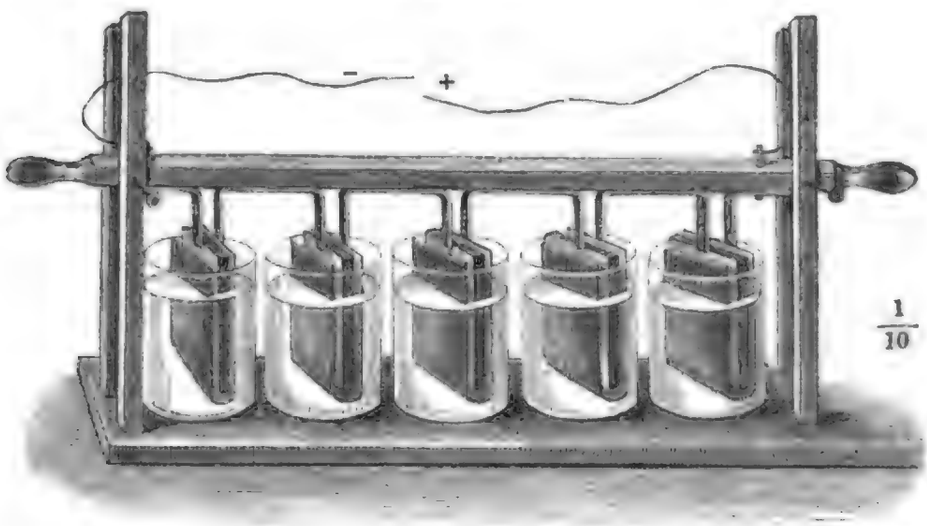


Eine Reihe ſolcher Plattenpaare iſt nun mittelſt ihrer Verbindungsſtreifen an einer Holzleiſte befeſtigt, ſo daß man alle auf einmal niederlaſſen und in die Flüſſigkeit eintauchen kann. Jedes Plattenpaar hat ſein beſonderes Gefäß, wie man Fig. 429 ſieht.

Wenn die Gefäße rund ſind, wie unſere Figur zeigt, ſo müſſen die Platten-

paare ziemlich weit auseinanderstehen. Viel Raum wird dadurch gewonnen, daß man flache Gefäße von Glas oder Porzellan anwendet oder noch besser einen

Fig. 429.



Trog von der Form wie der in Fig. 426 abgebildete, in welchem die Scheidewände der Zellen gleichfalls aus der isolirenden Substanz des ganzen Gefäßes bestehen. Jede Zelle ist zur Aufnahme eines Plattenpaares bestimmt. Am besten sind solche Tröge von Porzellan, doch reicht auch gute Töpferwaare hin, wenn sie mit einer dauerhaften Glasur versehen ist.

Faraday brachte für diese Batterie einen Trog ohne alle Scheidewand in Anwendung; dabei geht nun freilich ein Theil der galvanischen Kraft durch Nebenschließung verloren, es bleibt aber immer noch eine bedeutende Wirkung übrig, und man gewinnt auf der anderen Seite dadurch, daß man die Plattenpaare näher zusammenbringen kann, sehr an Raum.

Eine sehr compendiöse Kupferzinksäule ohne Absonderung der Flüssigkeit hat Münch construirt, doch würde uns eine genauere Beschreibung derselben zu weit führen.

Die constanten Säulen. Bei allen den bis jetzt besprochenen ein- 205
fachen und zusammengesetzten Ketten ist die Wirkung gleich nach dem Eintauchen in die saure Flüssigkeit sehr energisch; sie nimmt aber sehr rasch ab. Diese Veränderlichkeit des Stromes ist nun immer, namentlich aber dann störend, wenn es sich darum handelt, vergleichende Versuche über die Stromkraft anzustellen. Von diesem Uebelstande sind nun die sogenannten constanten Batterien fast ganz frei.

Die constanten Batterien haben das gemeinschaftlich, daß das negative Metall in eine andere Flüssigkeit eingetaucht ist als das positive. Gewöhnlich sind die einzelnen Plattenpaare in einzelne Gläser vertheilt, ähnlich wie bei der Wollaston'schen Batterie, Fig. 429; um aber Raum zu ersparen, sind sie nicht eben, sondern cylinderförmig gekrümmt. Die Flüssigkeit, in welche das negative Metall eintaucht, ist von der Flüssigkeit, in welche das positive Metall eintaucht, durch eine poröse Scheidewand getrennt, für welche man an-

fangs zum Theil thieriſche Blaſen, ſpäter aber allgemein hohle poröſe Thoncylinder anwandte, welche unter dem Namen der Thonzellen bekannt ſind.

Bei allen conſtanten Batterien wird der negative Pol durch Zink gebildet, welches in verdünnte Schwefelſäure eingetaucht iſt: der poſitive Pol dagegen wird bei der Becquerel'ſchen oder Daniell'ſchen Säule durch Kupfer gebildet, welches in eine concentrirte Löſung von Kupfervitriol, bei der Grove'ſchen durch Platin, welches in concentrirte Salpeterſäure eingetaucht iſt. Bei der Bunſen'ſchen Säule iſt das Platin durch ſehr feſte Kohle erſetzt.

Fig. 430.

Fig. 430 ſtellt einen Daniell'ſchen Becher dar. Das mit einer Löſung von Kupfervitriol gefüllte Glasgefäß enthält zunächſt einen aus Kupferblech gebogenen hohlen Cylinder K, innerhalb deſſen die mit verdünnter Schwefelſäure gefüllte Thonzelle T ſteht. In die Flüſſigkeit der Thonzelle iſt dann der Zinkcylinder Z eingetaucht.

An dem Zinkcylinder iſt ein geſchlitzter Metallſtreifen m, am Kupfercylinder ein Streifen p von Kupferblech befeſtigt, welcher die Schraube s trägt, vermittelſt deren man den Kupferſtreifen p mit dem Streifen m des nächſten Bechers zuſammenſchrauben kann.

Die Bunſen'ſchen Säulen haben gewöhnlich dieſelbe Anordnung, nur

Fig. 431.

enthält das Glas concentrirte Salpeterſäure, und der hohle Kupfercylinder iſt durch einen Kohlencylinder erſetzt. Der Kohlencylinder iſt mit einem Kupferringe umgeben, an welchem ein Kupferſtreifen mit einer Schraube befeſtigt iſt, welche dazu dient, eine leitende Verbindung des Kohlencylinders mit dem Zink des folgenden Bechers herzuſtellen.

Fig. 431 zeigt, wie mehrere Bunſen'ſche Becher zu einer Säule verbunden werden können.

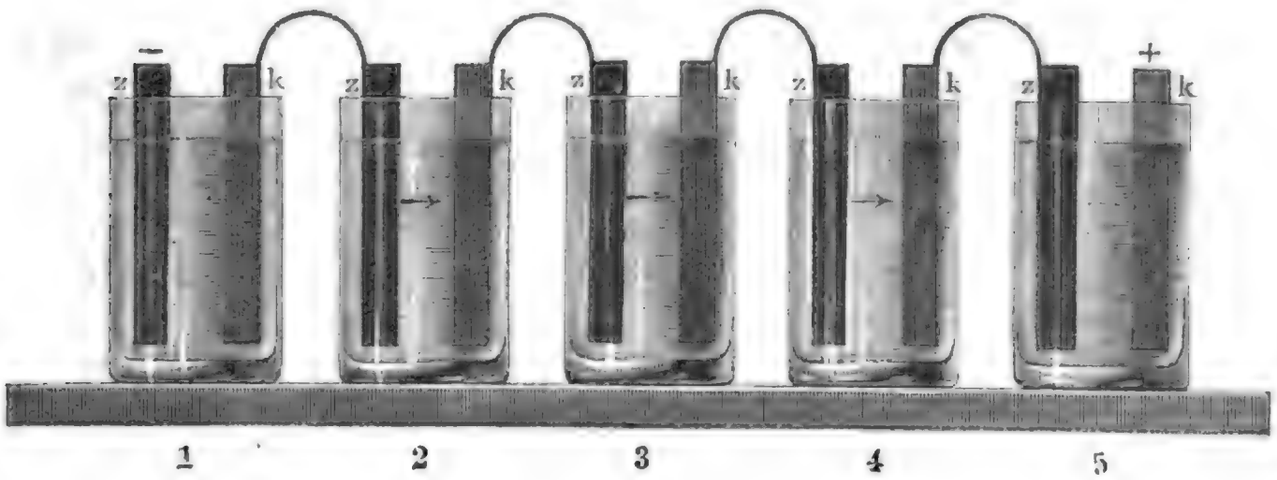
Die Kohle zu dieſen Cylindern wird auf eine eigene Weiſe aus Steinkohlen und Coaks bereitet, die wir hier nicht näher betrachten können.

Die Grove'ſche Batterie iſt in ihren Conſtructionen der Bunſen'ſchen ſehr ähnlich, nur wird Platin ſtatt der Kohle angewandt.

Den Grund, warum dieſe Anordnungen einen Strom von größerer Beſtändigkeit geben als die früheren Volta'ſchen Säulen, werden wir weiter unten kennen lernen.

Bestimmung der Pole und der Stromesrichtung einer Becherſäule. 206 Wenn man eine galvaniſche Batterie aus einzelnen elektromotoriſchen Bechern zuſammenſetzt, wie dies Fig. 432 ſchematiſch darſtellt, ſo

Fig. 432.



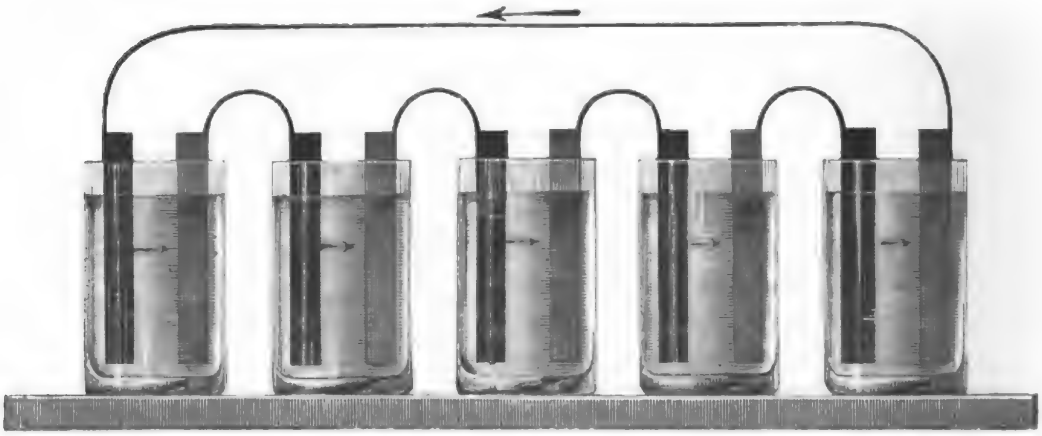
muß immer die Kupferplatte des einen Bechers mit der Zinkplatte des folgenden in leitende Verbindung gebracht werden; auf dieſe Weiſe aber bleibt in dem erſten Becher eine vereinzelte Zinkplatte, in dem letzten eine vereinzelte Kupferplatte übrig.

Nach §. 202 iſt nun klar, daß die vereinzelt bleibende Zinkplatte des erſten Bechers den negativen, die vereinzelt bleibende (oder die an ihre Stelle tretende Platin- oder Kohlenplatte) des letzten Bechers den poſitiven Pol der Säule bildet, wie auch in Fig. 432 angedeutet iſt.

Wird nun die Kette geſchloſſen, indem man etwa, wie es Fig. 433 (a. f. S.) andeutet, die Kupferplatte in 5 mit der Zinkplatte in 1 durch einen Metalldraht verbindet, ſo muß der poſitive Strom in der Richtung circuliren, wie es die Pfeile andeuten, er tritt alſo von der in den Becher 5 eingetauchten Kupferplatte in den Schließungsbogen ein.

In jedem einzelnen Becher geht der positive Strom stets von der Zinkplatte durch die Flüssigkeit zu der gegenüberstehenden Kupfer-, Platin- oder Kohlenplatte, wie dies in unserer Figur gleichfalls durch kleine Pfeile angedeutet ist.

Fig. 433.



207 **Physiologische Wirkungen der Säule.** Berührt man mit einem etwas befeuchteten Finger der linken Hand den einen, mit einem Finger der rechten Hand den anderen Pol einer Volta'schen Säule von 20 bis 30 Plattenpaaren, so erhält man einen schwachen Schlag, welcher mit dem einer Leydener Flasche einige Aehnlichkeit hat. Die Stärke des Schlages, welche von der Größe der Plattenpaare unabhängig ist, wächst mit der Anzahl der Plattenpaare, so daß er bei einer Säule von 80 bis 100 Plattenpaaren schon ziemlich empfindlich ist.

Man empfindet einen Schlag in dem Momente, in welchem man die Kette durch die Finger schließt. So lange die Kette geschlossen bleibt, circulirt der elektrische Strom durch den Körper, ohne eine merkliche Wirkung auf das Gefühl hervorzubringen; nur bei kräftigen Säulen von vielen Plattenpaaren empfindet man während des Geschlossenseins ein brennendes singelndes Gefühl an den Stellen, wo der Strom in den Körper eingeführt wird. Einen zweiten Schlag empfindet man aber in dem Augenblicke, in welchem man die Kette wieder öffnet.

Schon durch ein einfaches Plattenpaar läßt sich eine blitzähnliche Erscheinung in den Augen hervorbringen. Man kann den Versuch auf mannigfache Weise anstellen; man bringt z. B. eine Silberplatte an den Augapfel selbst oder an das zuvor gut angefeuchtete Augenlied und berührt sie darauf mit einem Zinkstücke, welches man in der wohl angefeuchteten Hand hält oder im Munde stecken hat. Leitet man den Strom einer Säule durch die Augen, so wird die Lichterscheinung stärker.

Legt man ein Zinkstück auf die Zunge, ein Silberstück unter dieselbe,

bringt man alsdann die vorderen Enden beider Metalle in Berührung, so empfindet man einen eigenthümlichen bitteren Geschmack.

Licht- und Wärmeerzeugung durch galvanische Ströme. 208 Die galvanischen Ströme bringen, wie die der Reibungselektricität, Wärme und Licht hervor.

Wenn man einen galvanischen Strom durch einen Metalldraht leitet, so wird er erwärmt; damit aber eine kräftige Wirkung erhalten werde, muß der Schließungsdraht kurz und dünn sein. Je größer die wirkende Oberfläche des galvanischen Apparates ist, desto dickere Drähte kann man damit glühend machen und schmelzen. Je länger der Draht ist, desto mehr Plattenpaare muß man zur Säule vereinigen, um die erwähnten Wirkungen hervorzubringen.

Eisen- und Stahldraht wird weißglühend, schmilzt und verbrennt unter lebhaftem Funkensprühen.

Platindraht wird lebhaft glühend und schmilzt ab, wenn er für die angewandte Kette kurz und dünn genug ist.

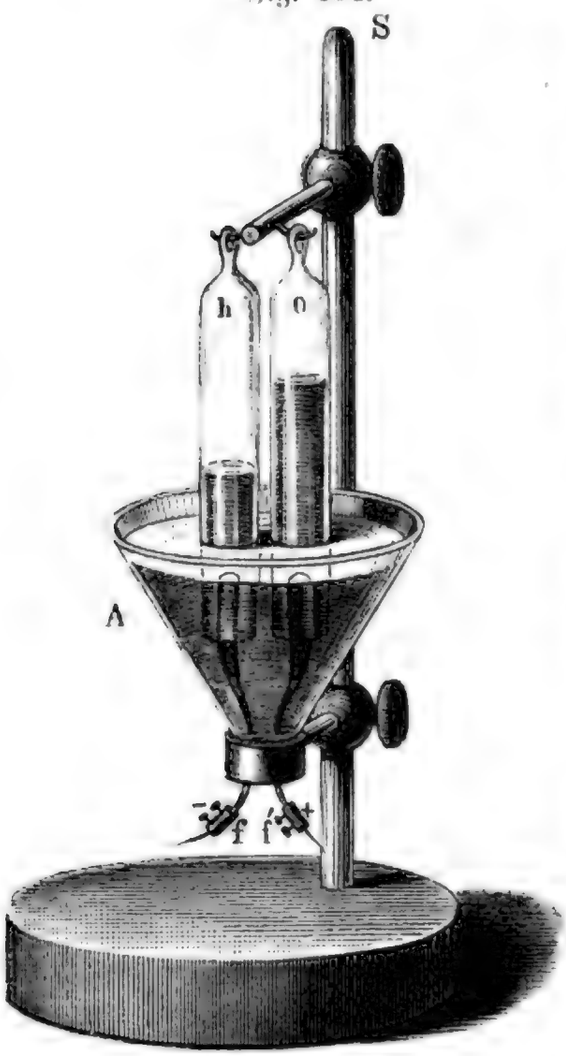
Das galvanische Glühen der Metalldrähte hat man mit Erfolg zum Anzünden von Minen benutzt.

Befestigt man an die beiden Pole einer galvanischen Kette zugespitzte Kohlenstücke, am besten von derselben Masse, aus welcher die Kohlencylinder der Bunsen'schen Batterie gemacht sind, so wird man, sobald man diese Spitzen in Berührung bringt, zwischen ihnen ein ungemein glänzendes Licht wahrnehmen. Dies helle Licht läßt sich schon mit einer Bunsen'schen Säule von 6 bis 10 Bechern zeigen; da, wo sich die Kohlenspitzen berühren, erscheint ein kleiner, sehr hell leuchtender Stern. Wenn man die Zahl der Becher vermehrt, so nimmt der Glanz der Erscheinung außerordentlich zu; mit einer Kette von 30 bis 50 Bechern erhält man ein Licht, welches das Drummond'sche Kalklicht weit übertrifft. Bei Anwendung so vieler Paare kann man auch die Kohlenspitzen, wenn einmal der Strom übergeht, ziemlich weit von einander entfernen, und so erhält man durch die glühenden Kohlenpartikeln, welche von einem Pole zum anderen übergehen, das herrliche Phänomen eines Lichtbogens. Man hat dieses Licht zur Beleuchtung im Großen vorgeschlagen, bis jetzt aber noch keine praktischen Resultate erhalten; dagegen hat man mit Erfolg das Kalklicht der sogenannten Knallgasmikroskope durch das Kohlenlicht ersetzt.

Galvanische Wasserzersetzung. 209 Die chemischen Wirkungen der Säule wurden zuerst (30. April 1800) von Carlisle und Nicholson beobachtet. Diese beiden Physiker hatten, um die Volta'schen Versuche zu wiederholen, in der Eile eine Säule von Thalerstücken, Zinkplatten und feuchten Pappscheiben aufgebaut. Nach einigen Versuchen wurde der eigenthümliche Geruch von Wasserstoffgas bemerklich, und Nicholson kam, dadurch veranlaßt, auf den glücklichen Gedanken, den Strom durch Wasser gehen zu lassen, indem er die beiden Poldrähte in dasselbe eintauchte und in einer kleinen Entfernung von einander hielt. Bald stieg das Wasserstoffgas in kleinen Bläschen am

negativen Pole auf, während der positive, aus Zink bestehende Poldraht sich oxydirte. Wird für den positiven Poldraht Platin oder Silber genommen, so oxydirt er sich nicht, sondern das Sauerstoffgas steigt ebenfalls in Bläschen in die Höhe. — So war denn endlich das Wasser direct in seine Elemente zerlegt. Cavendish hatte zwar schon gezeigt, daß Sauerstoff und Wasserstoff sich zu Wasser verbinden, aller Anstrengung ungeachtet war aber die directe Zersetzung des Wassers noch nicht gelungen. Ein passender Apparat zur Wasserzersetzung ist in Fig 434 dargestellt. Er besteht aus einem Glase, durch dessen isolirenden Boden zwei Kupferdrähte hindurchgehen, welche sich jedoch nicht berühren dürfen. An diese Drähte sind Platinplatten angelöthet, die Löthstelle aber und der Kupferdraht, so weit er sich im Gefäße befindet, ist sorgfältig mit Siegellacklösung überzogen. Zwei Glasglöckchen *o* und *h* sind mit gesäuertem Wasser gefüllt und hängen in ein gleichfalls mit gesäuertem Wasser gefülltes Glasgefäß herab, so daß sich über jeder der beiden Polplatten ein solches Glöckchen befindet. Sobald man nun die Drähte *f* und *f'* mit den Polen der Säule in Verbindung bringt, entwickeln sich Gasblasen in reichlichem Maße. Reines Sauerstoffgas steigt immer in dem Glöckchen über dem positiven Pole auf, das Wasserstoffgas im anderen. Es versteht sich von selbst, daß das Wasser in den Glöckchen von dem Wasser in dem Gefäße nicht abgesperrt sein darf, damit der Strom von der einen Polplatte durch die Flüssigkeit zu der anderen gelangen könne.

Fig. 434.



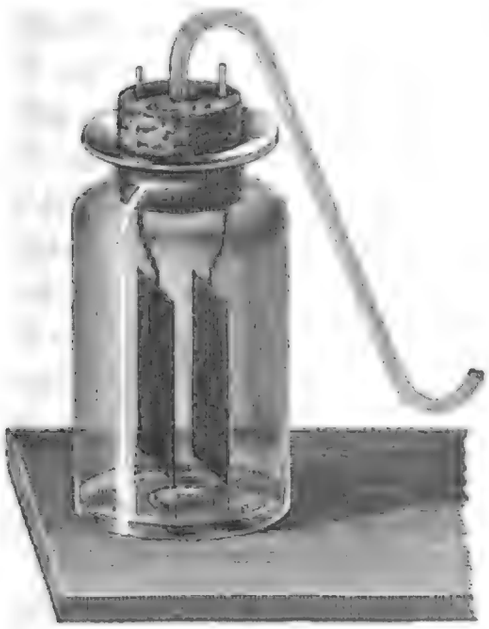
Die Gasentwickelung ist um so lebhafter, je größer die Polplatten sind und je näher sie einander stehen. Eine Säule von 4 bis 6 Bunsen'schen Bechern bringt schon eine sehr lebhafte Wasserzersetzung hervor.

Das destillirte und vollkommen reine Wasser wird auf diese Weise fast gar nicht zersetzt; sobald man aber nur einige Tropfen irgend einer Säure zugießt, wodurch sein Leitungsvermögen bedeutend erhöht wird, beginnt eine sehr lebhafte Gasbildung, so daß man in kurzer Zeit eine ziemlich bedeutende Menge der Gase auffangen kann. Wie die Quantität der gebildeten Gase von der Stromstärke abhängt, werden wir später sehen.

Wenn es nicht darauf ankommt, die beiden Gasarten getrennt aufzufan-

gen, kann man sich des Apparates Fig. 435 bedienen, in welchem mehr Wasser zersetzt wird, weil zwei größere Polplatten von Platin sich viel näher stehen.

Fig. 435.

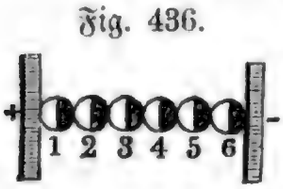


Das Gemenge der beiden Gase (Knallgas) entweicht durch eine gebogene Röhre, und wenn man die Oeffnung derselben unter Wasser taucht, so kann man das Gas auffangen oder die einzelnen entweichenden Blasen sogleich verpuffen.

Die Sauerstoffmenge, welche am positiven Pole frei und in der Röhre *o*, Fig. 434, gesammelt wird, ist dem Volumen nach immer nur halb so groß als die des Wasserstoffs, welcher am anderen Pole frei wird und in der Röhre *h* aufsteigt. Die Gase werden also gerade in dem Verhältnisse ausgeschieden, in welchem sie sich zu Wasser verbinden. Das Wasser besteht bekanntlich aus 1 Aequivalent Sauerstoffgas + 1 Aeq. Wasserstoff. Ein Aequivalent Wasserstoffgas aber nimmt unter sonst gleichen Umständen einen doppelt so großen Raum ein als 1 Aeq. Sauerstoff. Die durch die Säule ausgeschiedenen Gase würden also, mit einander verbunden, wieder Wasser geben. — Ein Wasserzersetzungsapparat, der mit einer graduirten Glasröhre versehen ist, in welcher man das gebildete Knallgas auffangen und messen kann, führt den Namen Voltameter, weil die Menge des in einer bestimmten Zeit durch den Strom zersetzten Wassers ein Maß für die Stärke des Volta'schen Stromes ist.

Grotthuß hat von dieser merkwürdigen Erscheinung folgende Erklärung gegeben, welche jetzt von fast allen Physikern als die richtige angenommen wird. Wenn Wasserstoffgas mit Sauerstoffgas zu Wasser verbunden ist, so werden bei dieser innigen Berührung der kleinsten Theilchen die Sauerstoffatome negativ, die Wasserstoffatome positiv elektrisch; wegen der gleichförmigen Vertheilung der Theilchen beider Substanzen aber zeigt natürlich die Verbindung keine freie Elektricität. Wenn sich nun Wasser zwischen den beiden Polen einer galvanischen Kette befindet, so wird der positive Pol auf die zunächst liegenden Wassertheilchen in der Weise wirken, daß der negative Bestandtheil angezogen und dem positiven Pole zugekehrt wird, während das abgestoßene Wasserstoffatom des ersten Wassermoleküls von dem positiven Pole abgewandt ist. Das Wassertheilchen 1, Fig. 436, wirkt aber auf das Wassertheilchen 2

Fig. 436.



in derselben Weise wie die Polplatte auf 1; ebenso wirkt 2 auf 3 u. s. w. So kommt es denn, daß alle Wassermoleküle zwischen den beiden Polen ihr Sauerstoffatom dem positiven Pole, ihr Wasserstoffatom dem negativen Pole zukehren, ungefähr so, wie

es Fig. 436 versinnlicht, wo die Kreischen Wassertheilchen darstellen, und zwar die schwarzen Hälften das Wasserstoffatom, die weißen das Sauerstoffatom. Wenn nun die Anziehung, welche der positive Pol auf das Sauerstoffatom des Wassertheilchens 1 ausübt, groß genug ist, so wird es gleichsam seinem Wasserstoffatome entrissen; dieses Wasserstoffatom verbindet sich wieder mit dem Sauerstoffe des Wassertheilchens 2; der Wasserstoff von 2 verbindet sich mit dem Sauerstoffe von 3 u. s. w. Auf diese Weise geht auf der ganzen Strecke zwischen beiden Polen eine beständige Zersetzung und Wiederbildung von Wasser vor sich, nur an den Polen selbst können die Bestandtheile desselben frei werden.

Gerade so wie zwischen den Polen findet aber auch in allen Zellen der galvanischen Kette eine Wasserzersetzung Statt.

Einen jeden Körper, welcher durch den galvanischen Strom in seine chemischen Bestandtheile zerlegt wird, nennt man nach Faraday ein Elektrolyt, während man eine durch den galvanischen Strom hervorgebrachte Zersetzung als Elektrolyse bezeichnet.

Die Polplatten, zwischen welchen die elektrolytische Zersetzung stattfindet, nennt Faraday Elektroden.

Nach der oben entwickelten Theorie der galvanischen Wasserzersetzung ist das Wasser zwischen den Polplatten der Zersetzungszelle gewissermaßen polarisirt, d. h. alle Sauerstoffatome sind gegen die positive Polplatte, alle Wasserstoffatome sind gegen die negative Elektrode hin gekehrt. Die positive Elektrode muß also auf den Sauerstoff, die negative muß auf den Wasserstoff anziehend wirken, wir müssen also die Sauerstoffatome als elektronegativ, die Wasserstoffatome als elektropositiv annehmen.

Die Wasserzersetzung geht aber nicht allein zwischen den Polplatten des Voltameters, sondern in gleicher Weise auch zwischen den Plattenpaaren der stromerzeugenden Säule vor sich; der positive Strom geht vom Zink durch die Flüssigkeit zum Kupfer (oder Platin) wie Fig. 433 Seite 378 andeutet. An der Kupfer- (Platin) platte wird Wasserstoffgas ausgeschieden, während der an der Zinkplatte auftretende Sauerstoff das Zink oxydirt.

Hier stoßen wir für den ersten Anblick auf einen Widerspruch. Der negativ elektrische Sauerstoff geht zur Zinkplatte, welche doch, wie wir in §. 200 gesehen haben, in Berührung mit gesäuertem Wasser selbst negativ elektrisch wird.

Um diesen Widerspruch zu lösen, müssen wir annehmen, daß eine Metallplatte, welche in eine elektromotorische Flüssigkeit eingetaucht ist, in ähnlicher Weise polarisirt wird, wie die Flüssigkeit selbst. Wenn also eine Zinkplatte in gesäuertes Wasser eingetaucht wird, so wird der Theil ihrer Oberfläche positiv elektrisch, welcher von der Flüssigkeit berührt ist, während der aus der Flüssigkeit hervorragende Theil der Zinkoberfläche die negativ elektrische Ladung zeigt, welche in §. 200 besprochen wurde.

Wegen dieser positiven Elektricität, mit welcher der Theil der Zinkoberfläche geladen ist, welcher mit der Flüssigkeit in unmittelbarer Berührung steht, wird das Zink das elektropositive Metall, und im Gegensatz dazu das Kupfer,

das Platin oder die Kohle das elektronegative Element der Säule genannt.

Elektrolyse der Alkalien und Erden. Eine neue Epoche der 210
Wissenschaft begann als Davy im Jahre 1807 mit Hülfe der Säule die Entdeckung machte, daß die Alkalien, welche man bis dahin für einfache Körper gehalten hatte, zerlegbar seien. Die Alkalien und Erden wurden dadurch in die Classe der Oxyde zurückgeführt und die Chemie mit zwei neuen metallischen Körpern, Kalium und Natrium, bereichert. Berührt man ein Stück Aetzkali, welches auf einer mit dem positiven Pole einer kräftigen Säule verbundenen Platinplatte liegt, mit dem negativen Poldraht, so sieht man zahlreiche Metallkügelchen an diesem Pole erscheinen und unter Funkensprühen wieder verschwinden. Es ist dies das Kalium, welches bei der Zerlegung des Kalis frei wird. Seine Verwandtschaft zum Sauerstoffe ist aber so groß, daß es sich, mit der Luft in Berührung, sogleich wieder oxydirt; wenn es aber mit Wasser in Berührung kommt, so entzieht es diesem den Sauerstoff und entzündet das Wasserstoffgas, daher denn die Feuererscheinung. Man muß deshalb das Kalium in einer nicht sauerstoffhaltigen Flüssigkeit aufbewahren. Man gebraucht zu diesem Zwecke gewöhnlich Steinöl, welches aus Kohlenstoff und Wasserstoff zusammengesetzt ist.

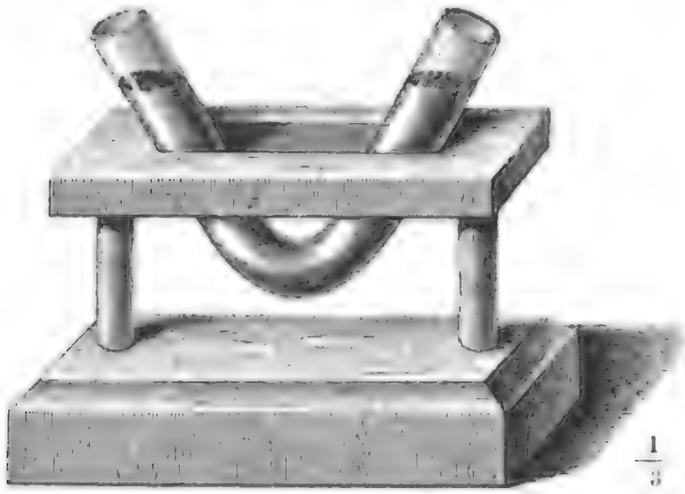
Seebeck hat ein Mittel angegeben, um das durch die Säule ausgeschiedene Kalium sicherer zu sammeln. In ein Stück kaustischen Kalis, welches zersetzt werden soll, wird eine Höhlung gemacht und Quecksilber in dieselbe gegossen. Das Kali wird dann auf ein mit dem positiven Pole der Säule in Verbindung stehendes Platinstück gelegt, das negative Drahtende aber in das Quecksilber getaucht. Alsbald geht die Zersetzung vor sich, Sauerstoff wird an der Platinplatte frei, das Kalium aber verbindet sich mit dem Quecksilber zu einem ziemlich beständigen Amalgam. Durch Destillation in einer Atmosphäre von Steinöldampf kann man alsdann das Quecksilber abscheiden und das Kalium in reinem Zustande erhalten.

Elektrolyse der Salze. Auch die Salze werden durch den galva- 211
nischen Strom zerlegt, und zwar erscheint die Säure am positiven, die Basis am negativen Pole. Die Zerlegung der Salze läßt sich dem Auge auf folgende Weise sehr gut sichtbar machen. Man fülle eine U-förmig gebogene Röhre, Fig. 437 (a. f. S.), mit einer Salzlösung, die durch Malventinctur violet gefärbt ist. Taucht man nun auf der einen Seite den positiven, auf der anderen den negativen Poldraht in die Flüssigkeit, so wird sie sich am positiven Pole roth, am negativen grün färben. Vertauscht man aber die Pole, so stellt sich erst allmälig die ursprüngliche violette Färbung wieder her; dann aber erscheint Roth da, wo vor der Vertauschung der Farben Grün war, und umgekehrt.

Gießt man eine Salzlösung in zwei neben einander stehende Gefäße, die durch ein feuchtes Asbestgewebe oder durch einen U-förmigen, mit der Flüssigkeit gefüllten Heber verbunden sind, taucht man dann in das eine Gefäß den

positiven, in das andere den negativen Poldraht, so geht die Zersetzung ebenfalls vor sich, und nach einiger Zeit findet sich die Säure in dem Gefäße, in welches der positive Draht eingetaucht ist, die Basis im anderen. Selbst wenn man in das Gefäß *A*, welches den positiven Poldraht enthält, die basische Lösung, in das andere, *B*, aber die Säure gießt, so findet sich nach einiger Zeit die Säure in *A*, die Basis in *B*. Man hat diese Versuche auf mannigfache Weise abgeändert.

Fig. 437.



1/3

Nach Daniell's Ansicht wird hier nicht das Salz direct in Säure und Basis zerlegt, sondern nach der einen Seite wandert die metallische Grundlage der Basis, nach der anderen die Säure + Sauerstoff. Danach hätte man z. B. das schwefelsaure Natron nicht als $SO^3 + NaO$, sondern als $SO^4 + Na$ zu betrachten *). Na wandert zum negativen, die hypothetische Verbindung

*) Für diejenigen, welche noch nicht hinlänglich in der Chemie bewandert sind, bedürfen diese Formeln einer Erläuterung. Alle einfachen Stoffe (Elemente) verbinden sich unter einander stets in bestimmten Verhältnissen; die Mischungsgewichte, nach welchen diese Verbindungen vor sich gehen, nennt man chemische Aequivalente. So besteht z. B. das Wasser aus zwei Bestandtheilen, welche für sich allein gasförmig sind, nämlich Sauerstoff und Wasserstoff, und zwar enthält es 8 Gewichtstheile Sauerstoff auf 1 Gewichtstheil Wasserstoff. — 8 Gewichtstheile Sauerstoff sind also das chemische Aequivalent für 1 Gewichtstheil Wasserstoff. Ein Aequivalent Sauerstoff bezeichnet der Chemiker aber durch O, ein Aequivalent Wasserstoff mit H. Die chemische Bezeichnung für Wasser ist demnach HO.

In diesem Sinne hat man für jeden einfachen Stoff sein chemisches Aequivalent bestimmt, und zwar sind Folgendes die Aequivalente einiger der bekanntesten Körper, wenn man das Aequivalent des Wasserstoffs als Einheit annimmt.

Sauerstoff	O	8,0	Kalium	K	39,2
Wasserstoff	H	1,0	Natrium	Na	23,0
Stickstoff	N	14,0	Eisen	Fe	28,0
Schwefel	S	16,0	Zink	Zn	32,5
Chlor	Cl	35,5	Silber	Ag	108,0.

Es verbinden sich also 8 Gewichtstheile Sauerstoff (O) mit 23 Gewichtstheilen Natrium (Na) zu Natron (NaO); während dieselbe Menge Sauerstoff sich mit 32,5 Gewichtstheilen Zink (Zn) zu Zinkoxyd (ZnO) vereinigt. Die obige Formel SO^3 bezeichnet eine Verbindung von 1 Aequivalent Schwefel mit 3 Aequivalenten Sauerstoff, also 16 Gewichtstheile Schwefel mit 24 Gewichtstheilen Sauerstoff, und diese Verbindung ist unter dem Namen der Schwefelsäure bekannt. $SO^3 + NaO$ ist die Formel für das Salz, welches durch die Verbindung von 1 Aequivalent Schwefelsäure und 1 Aequivalent Natron entsteht und welches „schwefelsaures Natron" genannt wird. Schwefelsaures Natron in Verbindung mit 10 Aequivalenten Wasser bildet das bekannte Glaubersalz.

SO^4 (Oxysulphion) zum positiven Pole. Das Oxysulphion zerfällt aber, sobald es am positiven Pole frei wird, in Sauerstoff, welcher gasförmig entweicht, und Schwefelsäure, welche in der Umgebung des + Pols in der Lösung bleibt. Am negativen Pole geht unterdessen folgender Proceß vor: Das freiwerdende Natrium oxydirt sich sogleich wieder auf Kosten des Wassers und bildet Natron, welches in der Lösung bleibt, während dafür ein Aequivalent Wasserstoff als Gas entweicht.

Ist das Metall des Salzes nicht leicht oxydirbar, so schlägt es sich auf der negativen Polplatte metallisch nieder, und es wird also kein Wasserstoff frei. Dies ist z. B. der Fall bei der galvanischen Zerlegung einer Lösung von schwefelsaurem Kupferoxyd; am positiven Pole entweicht Sauerstoffgas, und auf der negativen Polplatte schlägt sich metallisches Kupfer nieder.

Chlor-, Jod- und Brommetalle werden ebenfalls durch den elektrischen Strom zersetzt, und zwar scheidet sich das Metall am negativen, Chlor, Jod und Brom am positiven Pole aus. Schon durch die allerschwächsten Ströme kann das Jodkalium zerlegt werden.

Wenn man wässerige Lösungen der Einwirkung des elektrischen Stromes unterwirft, so werden die Resultate der Zersetzung sehr häufig durch die Gegenwart des Wassers modificirt. Um die Mitwirkung des Wassers zu vermeiden, hat Faraday viele Körper durch Schmelzen in flüssigen Zustand versetzt und so der Einwirkung des Stromes unterworfen. So zerlegte er z. B. Chlorblei, Chlorsilber u. s. w., indem er sie auf eine Glasplatte legte, durch eine Weingeistlampe schmolz und alsdann die beiden Poldrähte in die flüssige Masse eintauchte. Wenn in das geschmolzene Chlorsilber Poldrähte von Silber eingetaucht werden, so wird am negativen Pole Silber ausgeschieden, welches sich an dem Drahte ansetzt, während der positive Silberdraht durch das freigewordene Chlor aufgelöst wird.

Sehr häufig kommt es vor, daß die durch den galvanischen Strom ausgeschiedenen Stoffe nicht frei werden, sondern weiter zersetzend auf die umgebende Flüssigkeit wirken. Derartige Zerlegungen bezeichnet man mit dem Namen der secundären Action.

Hierher gehört z. B. die oben schon betrachtete Erscheinung, daß das Natrium, welches bei der Elektrolyse einer Lösung von schwefelsaurem Natron am negativen Pole auftritt, sich sogleich wieder auf Kosten des Wassers oxydirt, während dafür ein Aequivalent Wasserstoff frei wird. Als weitere Beispiele secundärer Action führen wir folgende an:

Der Sauerstoff, welcher durch den galvanischen Strom an der positiven Polplatte ausgeschieden wird, hat im Augenblicke seiner Entstehung sehr stark oxydirende Eigenschaften, so daß er Verbindungen bildet, welche der freie Sauerstoff sonst nicht direct eingeht. So liefert z. B. die Elektrolyse der Salzsäure, besonders wenn ihr ein paar Tropfen Schwefelsäure zugesetzt sind, ein Gemenge freier Chlorsäure und Ueberchlorsäure, während gleichzeitig freies Chlorgas am + Pole und Wasserstoffgas am — Pole in Masse entweichen. Es haben sich also hier Chlor und Sauerstoff im status nascens direct mit einander vereinigt.

Taucht man die beiden aus Platin bestehenden Polplatten in eine Auflösung von Bleizucker, so bildet sich unter dem oxydirenden Einflusse des am positiven Pole entwickelten Sauerstoffes Bleihyperoxyd, welches sich auf der positiven Polplatte absetzt.

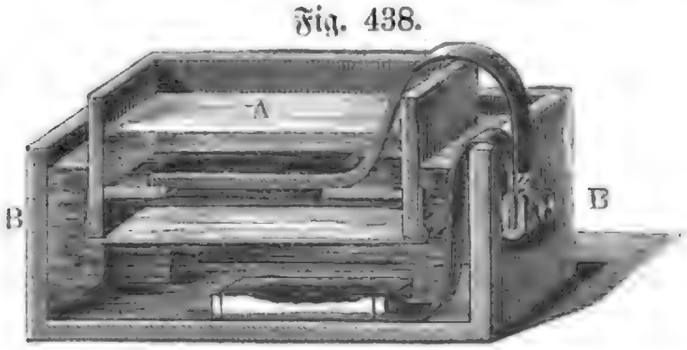
Auf ähnliche Weise und aus demselben Grunde setzt sich am positiven Pole Manganhyperoxyd ab, wenn die Flüssigkeit aufgelöstes Manganoxydul enthält.

Ein ganz dünner, auf die eben angedeutete Weise erhaltener Ueberzug von Manganhyperoxyd oder Bleihyperoxyd zeigt die lebhaftesten Farben (Nobili'sche Farbenringe), welche man bereits zur Verzierung mancher Metallwaaren (z. B. Tischglocken) angewandt hat.

212 **Praktische Benutzung der chemischen Wirkung des Stromes.** Das auf der negativen Polplatte galvanisch niedergeschlagene Kupfer läßt sich von derselben ablösen, so daß man einen mikroskopisch genauen Abdruck ihrer Oberfläche erhält; wendet man nun als negative Polplatte eine Münze, eine gestochene Kupferplatte u. s. w. an, so erhält man auf diese Weise einen kupfernen Abdruck dieser Form. — Dies Verfahren ist unter dem Namen der Galvanoplastik bekannt.

Um einen galvanoplastischen Abdruck einer metallischen Form, z. B. einer Münze, zu machen, hat man sie nur als negative Polplatte eines schwach geladenen Daniell'schen oder Bunsen'schen Bechers, der positiven Polplatte gegenüber, in eine concentrirte Lösung von Kupfervitriol zu tauchen. Es ist jedoch nicht einmal nöthig, eine vom Elektromotor gesonderte Zersetzungszelle anzuwenden, indem die metallische Form selbst die Rolle des elektronegativen Metalles in der Daniell'schen Kette übernehmen kann. Fig. 438 stellt einen zu diesem Zwecke construirten Apparat dar. Ein Gefäß A, welches oben offen ist, dessen Boden aber durch eine Schweins- oder Ochsenblase gebildet wird, ist so in ein weiteres Gefäß B eingesetzt, daß der Boden von A ungefähr 2 Zoll über dem Boden des Gefäßes B sich befindet. Das Gefäß A wird mit stark verdünnter Schwefelsäure (ungefähr $^1/_{40}$ Schwefelsäure), das Gefäß B aber mit einer concentrirten Lösung von Kupfervitriol gefüllt. In die Flüssigkeit des oberen Gefäßes wird dann eine amalgamirte Zinkplatte, in die Flüssigkeit des unteren Gefäßes wird die aus einem elektronegativen Metalle bestehende Form eingesetzt.

Fig. 438.



Auf irgend eine Weise muß dafür gesorgt sein, daß die Zinkplatte in einiger Entfernung über der Blase gehalten wird, welche den Boden des Gefäßes A bildet; ferner ist es gut, über der Blase ein Stück Leinen auszubreiten, damit Unreinigkeiten und Metallstückchen, welche von der Zinkplatte herabfallen, nicht mit der Blase in Berührung kommen.

Die Zinkplatte ist mit einem Zinkstreifen versehen, welcher bei *z* durch eine Klemmschraube an einen Metallstreifen angedrückt wird, der zur elektronegativen Form führt.

Am zweckmäßigsten stellt man eine solche, als Matrize dienende Form aus Guttapercha her, indem man die weiche Guttapercha auf den zu vervielfältigenden Gegenstand mittelst einer Presse aufdrückt. Um ein Anhaften zwischen der Guttapercha und dem Originale zu verhindern, wird letzteres mit einer feinen Graphitschicht überzogen. Die Presse wird erst nach vollständigem Erkalten der Guttapercha geöffnet.

Eine solche Form ist freilich nicht leitend; sie wird es erst dadurch, daß man die Fläche derselben, auf welcher sich das Kupfer absetzen soll, mit einer zarten Schicht von Graphit überzieht, welche mittelst eines weichen Pinsels aufgerieben wird. Diese Form wird sodann auf einem Bleistreifen befestigt, indem man sie mittelst mehrerer Kupferstifte, welche die leitende Verbindung zwischen der Graphitschicht und dem Bleistreifen herstellen, aufnietet.

Dieser Bleistreifen, welcher bei *z* mit dem zur Zinkplatte führenden Zinkstreifen zusammengepreßt ist, muß, soweit er in die Lösung von Kupfervitriol eintaucht, mit einem isolirenden Ueberzuge versehen sein, den man etwa durch Anstreichen mit einer Siegellacklösung herstellen kann.

Der Strom, welcher durch den Apparat circulirt, ist nur schwach; das Kupfer setzt sich langsam auf die Graphitfläche ab. Je nachdem der Strom stärker oder schwächer ist, ist in einem oder mehreren Tagen die Kupferschicht dick genug zum Abnehmen. Bei schwächeren Strömen wird der Kupferniederschlag am gleichförmigsten; deshalb darf die Flüssigkeit, in welcher sich die Zinkplatte befindet, nur schwach sauer sein.

Je mehr Kupfer sich abgesetzt hat, desto heller wird die Vitriollösung. Wenn es nöthig ist, muß man die verbrauchte Lösung durch neue ersetzen.

Man hat in neuerer Zeit sehr wichtige Anwendungen von der Galvanoplastik gemacht; es ist gelungen, auf diese Weise Holzschnitte mit aller Schärfe des Originals zu vervielfältigen, wodurch es möglich wird, von einer und derselben Figur beliebig viele Abdrücke zu erhalten, ohne daß die späteren den früheren nachstehen. (Die Holzschnitte dieses Werkes sind mit solchen Kupfertypen gedruckt.)

Eine gestochene Kupferplatte hält bekanntlich nicht sehr viele Abdrücke aus, ohne bedeutend zu verlieren, die späteren Abdrücke sind immer schlechter als die ersten; daher der Werth der sogenannten avant la lettre. Dadurch ist der Stahlstich so sehr in Aufnahme gekommen, weil eine Stahlplatte ungleich mehr Abdrücke aushalten kann. Für die Kunst ist dies von entschiedenem Nachtheile, weil die Härte dieses Materials dem Künstler sehr große technische Schwierigkeiten entgegensetzt, welche es ihm unmöglich machen, auf Stahl ein so vollendetes Kunstwerk zu liefern wie auf Kupfer. Nun hat man aber gelernt, Kupferplatten, selbst große Kupferplatten, auf galvanoplastischem Wege zu vervielfältigen, und zwar so, daß die Abdrücke der Copien, deren man beliebig viele machen kann, denen der Originalplatte ganz gleich sind.

Endlich hat Kobell in München ein unter den Namen der Galvanographie bekanntes Verfahren angegeben, um in Tuschmanier gemalte Bilder durch Galvanoplastik zu vervielfältigen. Auf eine übersilberte Kupferplatte malt man mit einer Farbe, welche dadurch bereitet wird, daß man Oker oder Coaks mit einer Auflösung von Wachs und Terpentinöl anreibt und etwas Dammara-Firniß zusetzt. Mit dieser Farbe malt man auf die Platte so, daß die hellsten Lichter frei bleiben und die Farbe um so dicker aufgetragen wird, je dunkler der Schatten sein soll. Sobald das Bild fertig gemalt ist, wird es mit Hülfe eines zarten Pinsels mit feingepulvertem Graphit überzogen und dann in den galvanoplastischen Apparat eingesetzt. Allmälig schlägt sich das Kupfer auf die gemalte Platte nieder und bildet eine zweite Kupferplatte, auf welcher alle Lichtpartien der ersteren eben, die Schattenpartien aber vertieft sind; diese Platte liefert nun, wie eine gestochene Kupferplatte behandelt, Abdrücke, welche einer getuschten Zeichnung ähnlich sehen.

Ebenso wie sich aus einer Auflösung von Kupfervitriol auf galvanischem Wege Kupfer am negativen Pole der Kette absetzt, setzen sich auch andere Metalle, wie Gold, Silber, Platin, aus einer geeigneten Auflösung am negativen Pole ab, und man kann auf diese Weise andere Metalle mit einer dünnen Schicht von Gold oder Silber überziehen. Darauf gründet sich die galvanische Vergoldung und Versilberung u. s. w.

Ein Stück Kupfer oder Eisen wird, für sich allein in verdünnte Schwefelsäure oder in eine Kochsalzlösung getaucht, angegriffen; sobald es aber unter der Flüssigkeit mit einem mehr elektropositiven Metalle, z. B. mit Zink, in Berührung gebracht wird, bildet sich eine einfache galvanische Kette, das Kupfer oder das Eisen wird nun als das elektronegative Element nicht mehr angegriffen, dagegen wird das Zink rascher oxydirt, als es für sich allein der Fall gewesen wäre. Darauf gründet sich Davy's Versuch, durch Zinknägel den Kupferbeschlag der Schiffe zu schützen. Dasselbe Princip ist auch in Anwendung gebracht worden, um das Anfressen der eisernen Pfannen zu verhindern, in welchen Salzsoole versotten wird.

213 **Elektrochemische Theorie.** Die bisher besprochenen Erscheinungen zeigen uns merkwürdige Beziehungen zwischen den chemischen und elektrischen Kräften. Schon früher hatte man unbestimmt vermuthet, daß bei den chemischen Erscheinungen elektrische Kräfte thätig sein möchten; man ging jedoch erst näher auf diese Vorstellung ein, als die Wasserzersetzung durch die Volta'sche Säule bekannt geworden war; namentlich waren es Davy und Berzelius, welche dieselbe ausbildeten; sie stellten die elektrochemische Theorie auf, nach welcher die Grundursache der chemischen Verbindungen in einer elektrischen Anziehung zu suchen ist. Wenn es auch noch nicht vollständig bewiesen ist, daß chemische Affinität und elektrische Anziehung identisch sind, so muß doch zugegeben werden, daß diese Theorie als ein gemeinsames Band viele Thatsachen auf eine der Erfahrung entsprechende Weise verknüpft.

So wie nach der älteren Contacttheorie, wie sie Volta aufstellte, Zink

und Kupfer, in Berührung gebracht, entgegengesetzt elektrisch werden, so werden, nach der elektrochemischen Theorie, die Atome je zweier Elemente entgegengesetzt elektrisch, wenn sie mit einander in Berührung kommen. Alle Elemente lassen sich nach dieser Theorie in eine Reihe in der Art ordnen, daß jedes vorhergehende mit jedem folgenden in Berührung gebracht negativ elektrisch wird, und zwar ist die elektrische Differenz um so größer, je weiter zwei Elemente in dieser Reihe (der sogenannten Spannungsreihe) von einander abstehen. Die äußersten Glieder dieser vollständigen Spannungsreihe sind Sauerstoff und Kalium, und zwar bildet Sauerstoff das negative, Kalium das positive Ende. Folgendes ist die Spannungsreihe der bekanntesten Elemente:

—	
Sauerstoff	Silber
Schwefel	Kupfer
Stickstoff	Wismuth
Chlor	Blei
Brom	Eisen
Jod	Zink
Phosphor	Wasserstoff
Kohlenstoff	Mangan
Antimon	Aluminium
Silicium	Magnesium
Gold	Calcium
Platin	Barium
Quecksilber	Natrium
Silber	Kalium
	+

Bei den wenigsten der genannten Körper ist diese Stellung durch directe Versuche ermittelt; für die meisten hat man sie aus ihrem chemischen Verhalten zu erschließen gesucht.

Nach der elektrochemischen Theorie sind die Atome der Elemente nicht an und für sich elektrisch; sie werden es erst in Berührung mit anderen, und so kommt es denn, daß ein und derselbe Körper bald positiv, bald negativ elektrisch werden kann. So bildet z. B. Schwefel in Verbindung mit Sauerstoff das elektropositive, mit Wasserstoff das elektronegative Element.

Zunächst verbinden sich die einfachen Stoffe, immer je zwei, zu binären Verbindungen. Die zusammengesetzten Körper, wie die Sauerstoff-, Schwefel- und Chlorverbindungen, zeigen unter sich ein ähnliches Verhalten, wie die einfachen Stoffe; diejenigen binären Verbindungen der einfachen Elemente, Oxyde, Sulfüre, Chlorüre u. s. w., welche sich durch negativ elektrische Eigenschaften charakterisiren und zugleich fähig sind, Verbindungen einer höheren Ordnung einzugehen, werden Säuren genannt; diejenigen, welche in ihren weiteren Verbindungen die Rolle des elektropositiven Bestandtheiles übernehmen, nennt man Salzbasen.

Der Charakter einer Säure wird sich im Allgemeinen um so stärker aus-

drücken, je näher ihre Elemente dem negativen Ende der Spannungsreihe liegen; daher ist die Schwefelsäure die stärkste aller Säuren. Der Sauerstoff bildet Säuren mit den in der oben mitgetheilten Spannungsreihe zu oberst stehenden Elementen, Basen mit den am positiven Ende stehenden Elementen, und in der That ist Kali die stärkste aller Basen.

Wenn ein und derselbe Körper sich in mehreren Verhältnissen mit Sauerstoff verbindet, so wird die Verbindung um so mehr elektronegativ werden, sie wird um so weniger basische und um so mehr saure Eigenschaften annehmen, je mehr das elektronegative Element, der Sauerstoff, vorherrscht. So bildet 1 Aeq. Mangan, verbunden mit 1 Aeq. Sauerstoff, das Manganoxydul, welches basische Eigenschaften hat, während 1 Aeq. Mangan + 3 Aeq. Sauerstoff die Mangansäure bilden.

214 **Das elektrolytische Gesetz.** Es kann wahrscheinlich gar kein, wenigstens kein einigermaßen starker elektrischer Strom durch eine Flüssigkeit hindurchgehen, ohne daß dieser Durchgang von einer chemischen Zersetzung begleitet ist. In jeder Zelle eines jeden galvanischen Apparates findet eine solche Zersetzung Statt, so lange die Kette geschlossen bleibt und Faraday hat gezeigt, daß die Stärke des elektrischen Stromes der Zersetzung in jeder einzelnen Zelle proportional ist.

Daß zwischen der Leitung des elektrischen Stromes durch Flüssigkeiten und ihrer Zersetzung eine innige Beziehung stattfindet, ist wohl nicht zu verkennen, ja man kann geradezu behaupten, daß der Uebergang der Elektricität durch die chemische Zersetzung vermittelt wird. In jeder Zelle geht der positive Strom vom Zink aus durch die Flüssigkeit zum Kupfer, in derselben Richtung wandern auch die Wasserstoffpartikelchen fort; sie sind die Träger der positiven Elektricität, welche durch sie zu der Kupferplatte übergeführt wird. In der That haben wir gesehen, daß den Grundsätzen der elektrochemischen Theorie zufolge in jedem Wasseratome die Elemente gerade deshalb so fest zusammengehalten werden, weil Sauerstoff und Wasserstoff, in Berührung gebracht, entgegengesetzt elektrisch werden, und weil diese entgegengesetzten Elektricitäten der Wasserelemente sich gegenseitig binden. Indem ein Wasserstoffatom von seinem Sauerstoffe getrennt wird, wird auch alle seine gebundene Elektricität frei; sie wird aber sogleich wieder gebunden, wenn sich der Wasserstoff auf der anderen Seite wieder mit einem anderen Sauerstofftheilchen verbindet, und so führt jedes Wasserstoffatom seine gebundene positive Elektricität fort, und an dem negativen Pole wird mit dem Wasserstoffe zugleich auch seine positive Elektricität frei.

Während gewöhnliches, käufliches Zink, in verdünnte Schwefelsäure getaucht, rasch aufgelöst wird, bleibt chemisch reines Zink oder amalgamirtes Zink in derselben Flüssigkeit fast unangegriffen. Construirt man nun eine galvanische Säule mit amalgamirten Zinkplatten, so kann in einer solchen Säule keine, oder doch nur eine schwache Wasserzersetzung stattfinden, so lange sie nicht geschlossen ist. Wird aber die Kette geschlossen, so beginnt augenblicklich die Wasserzersetzung in jeder Zelle; es wird jedoch nur gerade so viel Wasser zersetzt und Zink aufgelöst, als zur Leitung des circulirenden Stromes nöthig ist; die

Menge des aufgelösten Zinks muß also in einem ganz bestimmten Verhältnisse zu diesem Strome stehen. Faraday wandte den Strom einer solchen Säule zur Wasserzersetzung an und bestimmte genau die in einer gegebenen Zeit entwickelte Menge von Knallgas. Es fand sich nun, daß für jeden Gewichtstheil Wasserstoffgas, welcher zwischen den Polplatten des Voltameters entwickelt wurde, in jeder Zelle 32,3 Gewichtstheile Zink aufgelöst worden waren. Nun aber verhalten sich die Gewichte der chemischen Aequivalente von Wasserstoff und Zink zu einander wie 12,48 zu 403,32 oder wie 1 zu 32,3. Für jedes Aequivalent Wasserstoff also, welches in der Zerlegungszelle entwickelt wird, muß in jeder Erregungszelle der Säule 1 Aeq. Zink aufgelöst werden.

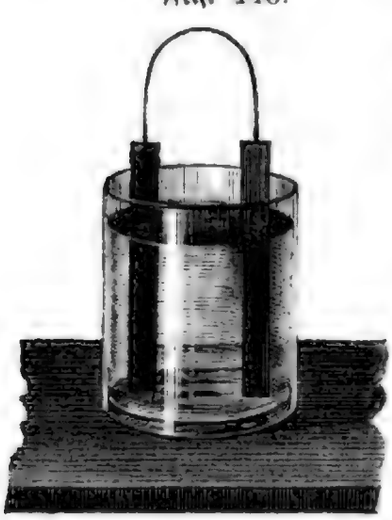
Wenn derselbe Strom durch vier Zerlegungszellen geleitet wird, von denen die erste Wasser, die zweite Chlorsilber, die dritte Chlorblei, die vierte Chlorzinn, alle aber im flüssigen Zustande, enthält, so verhalten sich die Quantitäten Wasserstoffgas, Silber, Blei und Zinn, welche an den vier negativen Polen ausgeschieden werden, wie 1 : 108 : 103,6 : 57,9, während an den positiven Polen Sauerstoffgas und Chlor, und zwar im Verhältnisse von 8 : 35,4, ausgeschieden werden. Aehnliche Thatsachen sind für viele andere zusammengesetzte Körper dargethan worden.

Es ergiebt sich aus diesen Thatsachen, daß die chemischen Aequivalente diejenigen relativen Gewichte der Stoffe bezeichnen, welche, in Berührung mit einem und demselben Elemente, eine gleich starke elektrische Polarität annehmen.

Theorie der constanten Ketten. Die gewöhnlichen Volta'schen 215
Säulen, in welchen nur eine Flüssigkeit angewandt wird, geben, wie schon bemerkt wurde, im ersten Augenblicke einen ungemein kräftigen Strom, der aber sehr rasch abnimmt, während in den Becquerel'schen (Daniell'schen), den Grove'schen und Bunsen'schen Batterien der Strom mit unveränderter Stärke fortdauert. Jetzt, wo wir die chemischen Erscheinungen in der Kette kennen gelernt haben, können wir uns davon Rechenschaft geben, warum in diesen Apparaten der Strom constant bleibt, in jenen aber so rasch abnimmt.

In ein Gefäß, Fig. 440, welches mit einer Lösung von Zinkvitriol gefüllt ist, werde eine Zink- und eine Kupferplatte eingetaucht, welche oben durch einen Kupferdraht verbunden sind. Auch hier wird anfangs ein ziemlich kräftiger Strom entstehen, der bald abnimmt und endlich ganz aufhört. Der Grund dieses Aufhörens ergiebt sich bald, wenn man den Vorgang der Zersetzung betrachtet; das Zinksalz der Lösung wird nämlich zersetzt, Sauerstoff geht an die Zinkplatte, um neues Oxyd zu bilden, während sich auf der anderen Seite metallisches Zink auf der Kupferplatte absetzt; nach einiger Zeit hat sich die Kupferplatte ganz mit Zink überzogen, und nun hört der Strom ganz auf, weil die erregende Flüssigkeit auf beiden Seiten mit dem gleichen Metall, nämlich mit Zink in Berührung ist.

Fig. 440.



Nehmen wir nun verdünnte Schwefelsäure statt der Lösung des Zinkoxyds, so wird das Wasser der sich zwischen der Zink- und Kupferplatte befindenden Flüssigkeit zersetzt; statt daß sich im vorigen Falle Zink an der Kupferplatte absetzte, wird nun hier Wasserstoffgas frei, die Kupferplatte überzieht sich mit einer Schicht von Wasserstoff, welcher sich gegen die Flüssigkeit elektromotorisch ähnlich verhält, wie Zink. Das Wasserstoffgas kann aber die Berührung des Kupfers mit der Flüssigkeit nicht so vollständig aufheben, wie es beim Zinküberzug der Fall war, weshalb denn auch nur eine Schwächung des Stromes und kein vollständiges Aufhören desselben erfolgt.

Ist somit die Ursache richtig erkannt, welche die Schwächung des Stromes in gewöhnlichen Säulen veranlaßt, so ergiebt sich leicht, wie eine solche Schwächung vermieden werden kann; man hat nämlich nur dafür zu sorgen, daß die Abscheidung des Wasserstoffes an den Kupfer- oder Platinplatten verhindert wird, daß also diese Platten stets in derselben Weise mit der Flüssigkeit in Berührung bleiben.

In der Becquerel'schen Kette setzt sich nicht Wasserstoff, sondern metallisches Kupfer an die Kupferplatte an, und somit bleibt stets eine reine Kupferoberfläche mit der Flüssigkeit in Berührung. In der Grove'schen Batterie aber ist das Platin, in der Bunsen'schen die Kohle von einer Schicht von Salpetersäure umgeben; diese Salpetersäure aber verhindert die Abscheidung des Wasserstoffes am Platin oder der Kohle, denn die ausgeschiedenen Wasserstofftheilchen werden im Momente ihres Entstehens auch sogleich wieder oxydirt, indem sich salpetrige Säure bildet.

216 **Theorie der Säule.** Es ist wohl hier der passendste Ort, Einiges über die verschiedenen Theorien zu sagen, welche man zur Erklärung der elektrischen Erscheinungen der Säule aufgestellt hat, da diese Theorien den Gegenstand lebhafter Erörterungen zwischen den verschiedenen Gelehrten bilden.

Die älteste Theorie ist die von Volta aufgestellte Contacttheorie, nach welcher die Berührung verschiedenartiger Metalle die einzige Quelle der Elektricität der Säule ist. Volta hatte vorzugsweise die Spannungswirkungen der Säule studirt, und diese finden auch durch seine Theorie die befriedigendste Erklärung. Die chemischen Erscheinungen ließ er unberücksichtigt, ohne Zweifel, weil er sie entweder gar nicht, oder doch nur höchst unvollständig kannte; daher kam es auch, daß er die Rolle, welche die Flüssigkeiten in der Kette spielen, nicht gehörig würdigte.

Nachdem nun die chemischen Wirkungen der Säule bekannt und genauer untersucht worden waren, konnte die Volta'sche Contacttheorie nicht mehr genügen, sie mußte also entweder berichtigt und erweitert werden, um auch die neu entdeckten Thatsachen zu umfassen, oder man mußte sie ganz verlassen und eine ganz neue Hypothese aufstellen. Beide Wege sind verfolgt worden, und zwar beide von ausgezeichneten Physikern.

Die Gegner der Contacttheorie, unter denen wohl Faraday vor allen Anderen zu nennen ist, betrachten die chemische Wirkung, welche die Flüssigkeiten

auf die Metalle ausüben, nicht allein als die Quelle des elektrischen Stromes der Säule, sondern sie betrachten auch die elektrische Spannung, welche bei der Berührung von Metallen und Flüssigkeiten auftritt, als das Resultat einer vorhergegangenen chemischen Zersetzung.

Die oben vorgetragene Theorie der Säule, welche man eine modificirte Contacttheorie nennen kann, steht gewissermaßen zwischen den extremen Ansichten in der Mitte, indem sie, den chemischen Beziehungen zwischen Metallen und Flüssigkeiten Rechnung tragend, den Sitz der Elektricitätsentwickelung nicht an der Berührungsfläche verschiedenartiger Metalle, sondern an der Berührungsfläche der Metalle und der Flüssigkeit sucht.

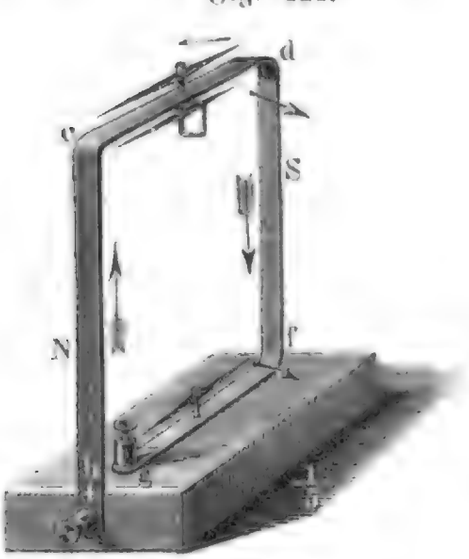
Wenn nun aber auch nach unserer Ansicht bei der Berührung eines Metalls mit einer (chemisch zusammengesetzten) Flüssigkeit eine elektrische Spannung ohne vorhergegangene chemische Zersetzung stattfinden kann, so können doch die chemisch zusammengesetzten Flüssigkeiten die Elektricität nur vermöge ihrer Zersetzung leiten. Das Kreisen des Stromes in einer hydro-elektrischen Kette steht also mit der chemischen Zersetzung der Flüssigkeiten in derselben in wesentlichem Zusammenhang.

Magnetische Wirkungen des galvanischen Stromes. 217

Schon lange wußte man, daß unter Umständen kräftige elektrische Entladungen die Magnetnadel afficiren können; man hatte z. B. beobachtet, daß die Compaßnadeln auf Schiffen, welche vom Blitze getroffen worden waren, ihre Eigenschaft verloren, den Weg des Fahrzeuges zu bezeichnen; mehrere Physiker versuchten, solche Erscheinungen durch die Entladung von Leydner Flaschen hervorzubringen, ohne jedoch zu regelmäßigen Resultaten zu gelangen; im Jahre 1820 entdeckte dagegen Oersted in Kopenhagen die Einwirkung des galvanischen Stromes auf die Magnetnadel.

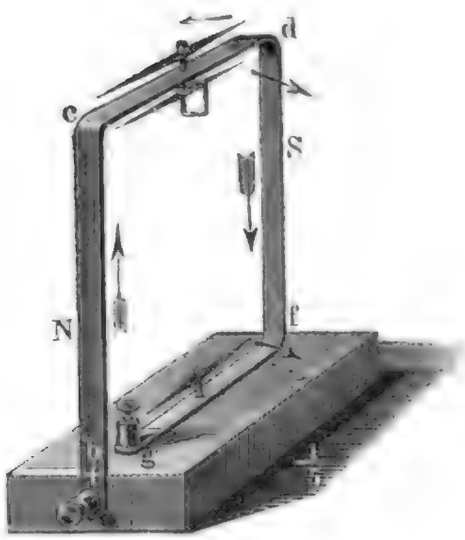
Den Fundamentalversuch über die Einwirkung eines galvanischen Stromes auf die Nadel kann man auf folgende Weise anstellen: ein Streifen Kupferblech wird so gebogen, daß er ein Quadrat bildet, dessen Seiten etwa 6 bis 8 Zoll lang sein können; an den beiden Enden desselben, bei b und bei g, Fig. 441, sind Schraubklemmen aufgesetzt, in welche die Zuleitungsdrähte für den Strom eingeschraubt werden können. In der Mitte auf dem horizontalen Stücke cd und auf fg ist eine Stahlspitze befestigt, auf welche eine Magnetnadel aufgesetzt werden kann. Ebenso befindet sich eine Stahlspitze, von einem gebogenen Kupferdraht getragen, unter der Mitte von cd, auf welche ebenfalls eine Magnetnadel aufgesetzt wird.

Fig. 441.



Diese Vorrichtung wird nun so aufgestellt, daß die Ebene des Quadrates in die Ebene des magnetischen Meridians fällt, daß sich also die Magnetnadeln mit cd und fg parallel stellen. Sobald nun aber ein Strom durch den Apparat hindurchgeht, werden die Magnetnadeln abgelenkt, und zwar in der durch die ungefiederten Pfeile bezeichneten Richtung, wenn der positive Strom bei b ein- und bei g austritt und wenn N die Nordseite, S die Südseite des Apparates bildet.

Fig. 442.



In den ersten Zeiten fand man große Schwierigkeiten darin, mit wenig Worten die Beziehungen zwischen der Richtung des Stromes und der Richtung der Ablenkung auszudrücken; diese Schwierigkeiten hat Ampère auf eine sinnreiche Weise gelöst; er hat folgende Regel angegeben, um jederzeit die Richtung der Ablenkung zu bestimmen. Man denke sich in den Strom eine kleine menschliche Figur so eingeschaltet, daß der positive Strom bei den Füßen ein- und am Kopfe austritt; wenn nun diese Figur ihr Gesicht der Nadel zukehrt, so wird der Nordpol der Nadel (das Nordende) immer nach der linken Seite dieser Figur hin abgelenkt.

In dem Stromstücke cd liegt die Figur wagerecht, den Kopf nach Süden, die Füße nach Norden gekehrt. Wird die Nadel über den Strom gehalten, so muß die Figur auf dem Rücken liegen, wenn ihr Gesicht der Nadel zugekehrt sein soll; bei dieser Lage der Figur ist ihre linke Seite die westliche. Wird die Nadel unter cd gehalten, so muß die Figur das Gesicht nach unten kehren und nun wird ihre linke Seite die östliche.

Für das Stromstück fg sind die Füße der Figur nach Süden, der Kopf nach Norden gekehrt; wenn die Figur auf dem Rücken liegt, ist also die linke Seite die östliche; wenn sie auf dem Leibe liegt, die westliche.

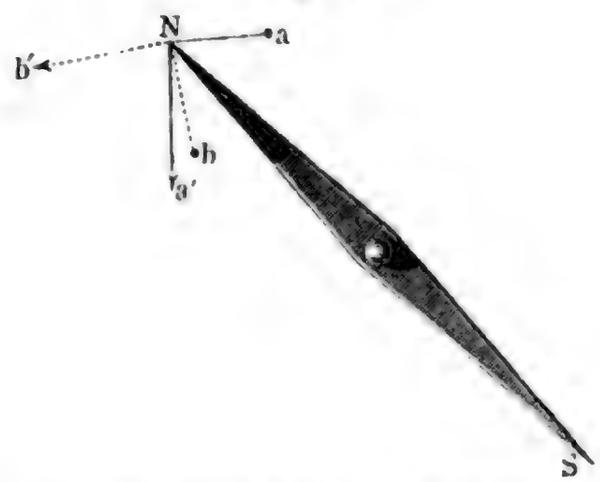
Wenn ein in der Ebene des magnetischen Meridians sich bewegender horizontaler Strom allein auf die Nadel wirkte, so würde sie sich rechtwinklig auf den magnetischen Meridian stellen; außer dem Strome wirkt aber auch noch der Erdmagnetismus, welcher die Nadel in den Meridian zurückzudrehen strebt. Unter dem Einflusse dieser beiden Kräfte wird also die Nadel eine Zwischenlage annehmen, sie wird mit dem magnetischen Meridian einen Winkel machen, der um so größer wird, sich also einem rechten um so mehr nähert, je größer die Stromkraft im Vergleiche zur magnetischen Erdkraft ist.

Auch der vertical gerichtete Strom in bc und df, Fig. 442, wirkt ablenkend auf die Nadel, und zwar findet man die Richtung der Ablenkung ebenfalls nach der Ampère'schen Regel. Man denke sich nur die vertical stehende Figur dem Nordende zugewandt, so muß sich dieses Nordende nach der Linken

drehen. Dabei ist aber nicht zu vergessen, daß für einen aufsteigenden Strom die Figur auf den Füßen, für einen niedergehenden auf dem Kopfe steht.

Aus dieser Ampère'schen Regel folgt, daß ein und derselbe verticale Strom das Nordende einer Nadel bald anzieht, bald abstößt, je nachdem dieser Pol sich auf der einen oder anderen Seite des Drahtes befindet. In Fig 443 stelle NS eine horizontale Nadel, von oben gesehen, dar, N sei das Nordende der Nadel, a sei ein verticaler Draht, der natürlich, von oben gesehen, als Punkt verkürzt erscheint. Geht nun ein positiver Strom von unten nach oben durch den Draht, so hat man sich die Figur aufrecht zu denken; wenn aber diese aufrechte Figur nach N hinschaut und der Pol N in Beziehung auf diese Figur nach der Linken gedreht wird, also so wie es der Pfeil a' andeutet, so wird die Nadel offenbar von dem Drahte abgestoßen. Befände sich aber der Draht in b, so würde die Nadel offenbar einen Impuls in der Richtung des Pfeils b' erhalten, also dem Drahte genähert werden.

Fig. 443.



Stellt man die Wirkungen zusammen, welche die Stromstücke bc, cd df und fg (Fig. 442) auf eine Nadel ausüben, welche sich innerhalb des Raumes $bcdfg$ befindet, so ergiebt sich, daß alle die Nadel in gleichem Sinne abzulenken streben, und zwar läßt sich in diesem Falle das Gesetz der Ablenkung in folgender Weise ausdrücken: *das Südende der Nadel wird nach der Seite hin abgelenkt, von welcher aus betrachtet der Strom die Nadel in gleicher Richtung umkreist, in welcher sich der Zeiger einer Uhr bewegt.*

Dieses Gesetz gilt natürlich auch für den Fall, daß der Strom in einem Kreise um die Nadel herumgeführt wird.

Bringt man die Nadel über das Stromstück cd, so wird das Nordende derselben nach derselben Seite hin abgelenkt, wie das Südende einer innerhalb $bcdfg$ befindlichen Nadel. Davon hat man bei der Construction des *Multiplicators* Anwendung gemacht, den wir sogleich näher betrachten wollen.

Der Multiplicator. Kurz nachdem *Oersted* die wichtige Entdeckung 218
gemacht hatte, daß der elektrische Strom, an einer Magnetnadel vorbei oder um dieselbe herumgeführt, eine Ablenkung aus dem magnetischen Meridian bewirke, construirten gleichzeitig *Poggendorff* und *Schweigger* ein Instrument, welches, unter dem Namen *Multiplicator* oder *Galvanometer* bekannt, den Zweck hat, schwache galvanische Ströme dadurch merklich zu machen, daß sie durch eine große Anzahl von Drahtwindungen vielmal um die Nadel herumgeführt werden, wie dies in Fig. 414 (a. f. S.) schematisch angedeutet ist.

Damit die Nadel *a b* möglichst frei beweglich sei, ist sie nicht auf eine Spitze gesetzt, sondern an einem Coconfaden aufgehängt.

Nobili hat den Multiplicator dadurch bedeutend empfindlicher gemacht, daß er statt einer einzigen Magnetnadel ein sogenanntes astatisches Nadelpaar in Anwendung brachte, wie dies Fig. 445 schematisch dargestellt ist.

Fig. 444.

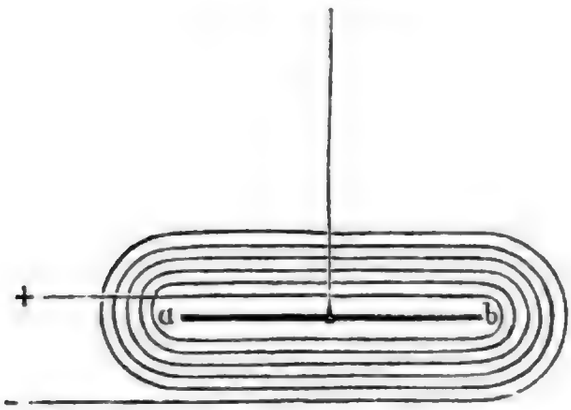
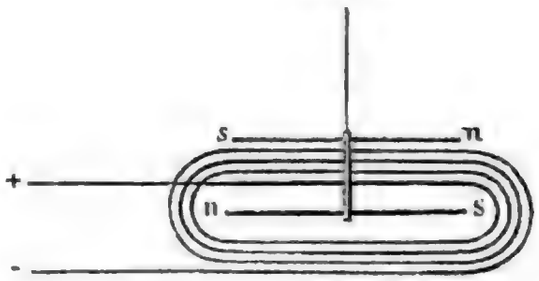


Fig. 445.



Es sind hier zwei Magnetnadeln so mit einander verbunden, daß sie einander parallel sind, daß aber der Nordpol der einen nach derselben Seite gerichtet ist, nach welcher der Südpol der anderen schaut. Bei einem solchen Systeme von zwei Nadeln ist die richtende Kraft des Erdmagnetismus außerordentlich gering, denn sie ist nur die Differenz der Kräfte, mit welchen der Erdmagnetismus jede einzelne Nadel zu richten strebt. Wäre das magnetische Moment beider Nadeln vollkommen gleich, so würde die richtende Kraft, welche die Erde auf dieses System ausübt, gleich Null sein

Während nun ein solches astatisches Nadelpaar nur mit sehr geringer Kraft durch den Erdmagnetismus gerichtet wird, summirt sich die Wirkung des Stromes auf beide Nadeln; denn indem die eine Nadel innerhalb der Windungen, die andere über denselben hängt, werden beide Nadeln nach gleicher Richtung durch den Strom abgelenkt.

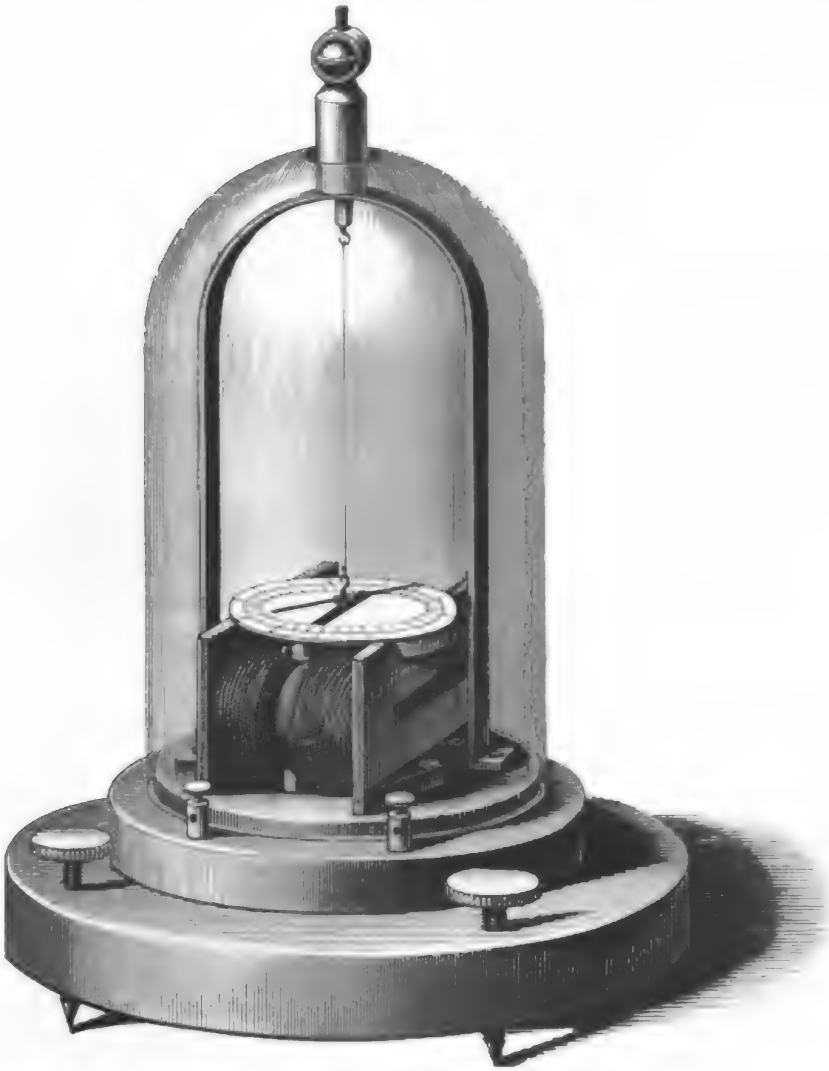
Fig. 446 stellt die Gesammteinrichtung eines Multiplicators dar. Der übersponnene Draht ist auf einen Holzrahmen aufgewickelt; die Drahtenden sind mit zwei auf der Vorderseite der Figur sichtbaren Messingsäulchen verbunden, in welche man die Zuleitungsdrähte einschrauben kann. Unter der oberen Nadel befindet sich ein Theilkreis. Das Nadelpaar hängt an einem einfachen Seidenfaden und kann nach Belieben etwas gehoben oder gesenkt werden. Die Glasglocke, welche das Ganze bedeckt, dient zur Abhaltung der Luftströmungen.

Je nach den Umständen wendet man Multiplicatoren an, die aus wenig Windungen eines dickeren oder aus sehr vielen Windungen eines dünneren Drahtes bestehen.

Das Galvanometer liefert uns ein Mittel, die Theorie der constanten Ketten, wie sie oben auseinandergesetzt wurde, durch directe Versuche zu bestätigen. — Nach Paragraph 215 beruht die rasche Abnahme der Stromstärke der gewöhnlichen Volta'schen Ketten darauf, daß sich die negative Platte mit einer Schicht von Wasserstoffgas überzieht, welches der ursprünglichen elektro-

motoriſchen Kraft der Kette entgegenwirkt. Aehnliches findet an den Platten eines Voltameters, Fig. 435, Statt; die negative Polplatte überzieht ſich mit Waſſerſtoff,

Fig. 446.



die poſitive überzieht ſich mit Sauerſtoff; dadurch aber wird die Zerlegungszelle ſelbſt elektromotoriſch, und zwar dem urſprünglichen Strom entgegengeſetzt. (Daher kommt es, daß man mit einem einzigen conſtanten Plattenpaar nur eine höchſt unbedeutende Waſſerzerſetzung erzeugen kann). — Dieſe in den Voltametern auftretende elektromotoriſche Gegenkraft wird mit dem Namen der galvaniſchen Polariſation bezeichnet; ihre Exiſtenz wird durch folgenden Verſuch beſtätigt. Man bringe in den Schließungsbogen, Fig 447, (a. f.S.) eines einzelnen conſtanten Bechers b einen Waſſerzerſetzungsapparat (Voltameter) a; nachdem die Schließung eine Zeitlang gedauert hat, hebe man ſie auf und verbinde die beiden Platten des Voltameters a mit den beiden Drahtenden des Galvanometers c, ſo wird dieſes einen Strom zeigen, welcher der Richtung nach

demjenigen entgegengesetzt ist, welchen die Kette b vorher durch das Voltameter a gesandt hatte.

Dieser Polarisationsstrom ist vorübergehend, er verschwindet bald mit dem Gasüberzug der Voltameterplatten.

Daß es aber wirklich der Gasüberzug ist, welcher den beiden Voltameterplatten ein entgegengesetztes elektromotorisches Vermögen ertheilt, hat Schönbein auf folgende Weise dargethan. — In Fig. 448 seien a und b zwei

Fig. 447.

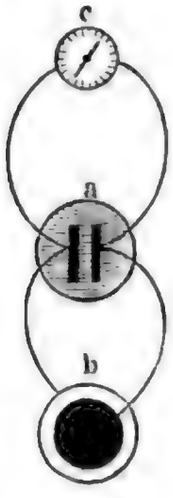
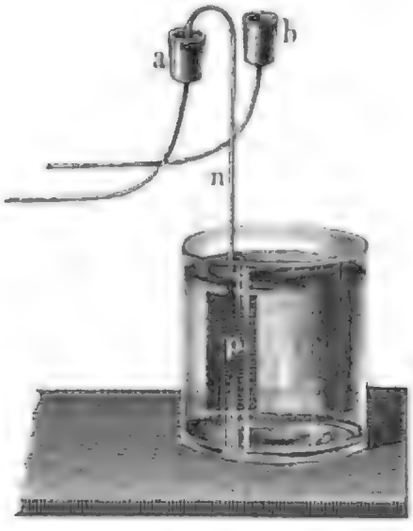


Fig. 448.

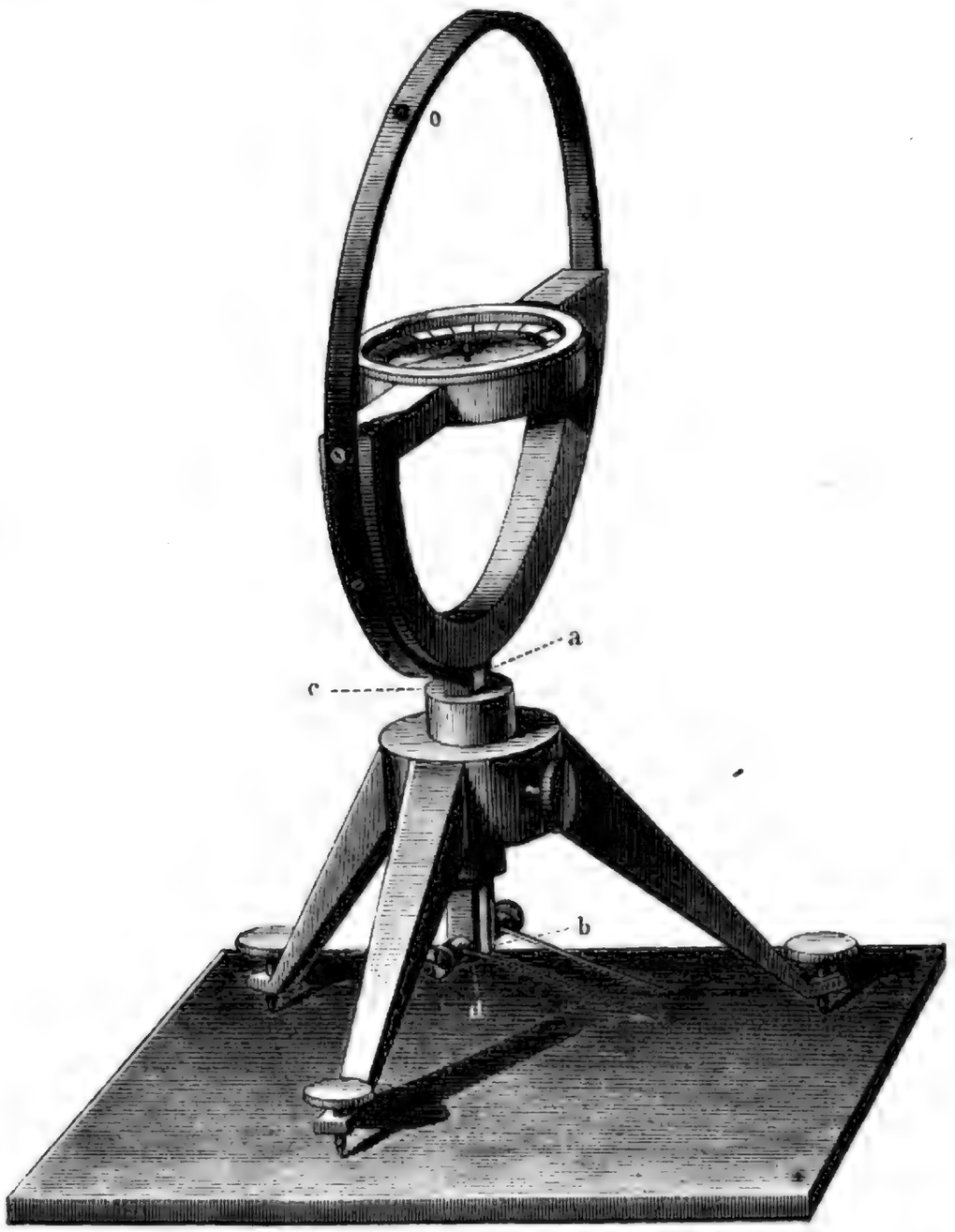


Quecksilbernäpfchen, welche mit den beiden Drahtenden eines Galvanometers in leitender Verbindung stehen; von a hängt eine wohl gereinigte Platinplatte p in ein Gefäß mit etwas gesäuertem Wasser; eine ganz gleiche Platinplatte tauche man nun einige Zeitlang in ein mit Wasserstoffgas gefülltes Gefäß, so daß sich diese Platinplatte, die wir mit p' bezeichnen wollen, mit einer Atmosphäre von Wasserstoffgas überzieht; bringt man nun diese Platte p' in dieselbe Flüssigkeit, in welche p eintaucht, so wird das Galvanometer augenblicklich einen Strom anzeigen, sobald man den an p' befindlichen Drahthaken in das Quecksilbernäpfchen b eintaucht, und zwar geht der positive Strom von p' durch die Flüssigkeit zu p; die mit Wasserstoff überzogene Platinplatte verhält sich also gegen die reine wie Zink zu Kupfer.

219 **Die Tangentenbussole.** Wenn man es mit stärkeren Strömen zu thun hat, so ist es nicht nöthig, eine astatische Nadel anzuwenden und viele Drahtwindungen so nahe um die Nadel herumzuführen; dadurch aber ist es möglich, Instrumente zu construiren, bei welchen der Ablenkungswinkel in einem einfachen Verhältnisse zu der Stromstärke steht. Der einfachste und zweckmäßigste Apparat zur Messung stärkerer Ströme ist die sogenannte Tangentenbussole, welche Fig. 449 abgebildet ist. Ein kreisförmig gebogener Kupferstreifen, in dessen Mittelpunkt sich eine Magnetnadel befindet, endet unten mit zwei geraden Kupferstreifen ab und cd, welche durch ein zwischen dieselben gelegtes Stück Holz oder Elfenbein von einander isolirt sind. Jedes dieser gerade ausgestreckten Enden des kreisförmig gebogenen Streifens trägt unten eine Schraubklemme zum Einschrauben der Zuleitungsdrähte.

Der Apparat wird so festgestellt, daß der Kupferring in der Ebene des magnetischen Meridians liegt; natürlich befindet sich in diesem Falle die Nadel

Fig. 449.



in der Verticalebene des Ringes und zeigt auf den Nullpunkt ihrer Theilung; sobald aber ein galvanischer Strom durch den Kupferring geht, wird die Nadel abgelenkt, und zwar ist die Stärke des Stromes der trigonometrischen Tangente des Ablenkungswinkels proportional, daher auch der Name des Instrumentes. (Mathematischer Supplementband §. 90, S. 213.)

Kraft der galvanischen Kette. Das Agens, welches in den Phä- 220
nomenen des Galvanismus wirkt, ist durchaus nichts Anderes als die Elektricität, welche uns auch die Elektrisirmaschine und das Elektrophor liefert; nur ist hier die Elektricität in Bewegung, dort in Ruhe; hier beobachten wir Bewegungserscheinungen, dort die Phänomene des Druckes; hier haben wir eine reiche, dort eine verhältnißmäßig arme Quelle von Elektricität.

Ein Bild kann dies vielleicht anschaulich machen. Wir können die Elektrisirmaschine mit einer Quelle vergleichen, welche nur spärlich Wasser giebt, aber hoch auf einem Berge liegt. Man kann das Wasser in einer engen Röhrenleitung sammeln, welche bis in das Thal hinabgeht und unten verschlossen ist. Die Wände dieser Röhrenleitung haben natürlich einen starken Druck auszuhalten, namentlich am unteren Ende, obgleich die Wassermasse in der Röhrenleitung so groß nicht ist. Am unteren Ende der Röhrenleitung befinde sich nun eine durch ein Ventil verschlossene Oeffnung; dies Ventil sei durch eine Feder oder durch ein Gewicht auf die Oeffnung gepreßt, wodurch diese verschlossen gehalten wird. Je mehr die Wassersäule in der Röhre steigt, desto stärker wird der Druck; endlich reicht der äußere Gegendruck nicht mehr hin, Widerstand zu leisten, das Ventil wird geöffnet, und mit Gewalt strömt das Wasser hervor; dabei aber sinkt rasch das Niveau in der Röhre; der äußere Druck gewinnt wieder das Uebergewicht und schließt die Oeffnung. Allmälig füllt sich die Röhre wieder, und nach einiger Zeit ist das Wasser wieder so hoch gestiegen, daß es von Neuem das Ventil öffnet.

Bei der Elektrisirmaschine ist der Conductor das Gefäß, die Röhrenleitung, in welcher die Elektricität angehäuft wird. Nähert man dem einen Ende des Conductors einen Leiter, etwa den Knöchel eines Fingers, so wird hier die größte Anhäufung von Elektricität stattfinden; sie hat ein Bestreben, auf den Finger überzuspringen, allein die Luftschicht, welche sich zwischen dem Conductor und der Hand befindet, hindert diesen Uebergang, sie repräsentirt das Gewicht, welches das Ventil geschlossen hält. Erst wenn auf dem Conductor die Elektricität bis zu einem gewissen Grade angehäuft ist, wird der Widerstand überwunden, die Luftschicht durchbrochen, der Conductor wird theilweise entladen. Nähert man den Finger dem Conductor noch mehr, so wird der Widerstand, welcher sich dem Uebergange der Elektricität entgegensetzt, geringer, was einer Verringerung des Druckes entspricht, welcher das Ventil der Röhrenleitung geschlossen hält.

Hätte man die Oeffnung am unteren Ende der Röhrenleitung nicht durch das Ventil geschlossen, so würde das Wasser in dem Maße ausgeflossen sein, als es durch die Quelle geliefert wird, eine Anhäufung des Wassers und mit ihr jener Druck, den die Wände auszuhalten hatten, hört auf. Weil aber die Quelle nur wenig Wasser giebt, so wird es auch nur spärlich aus jener Oeffnung herausfließen; das Wasser, welches, in der Röhre angehäuft, so ungeheuren Druck ausüben könnte, wird nun, da es frei abfließen kann, kaum einen merklichen mechanischen Effect hervorbringen.

Diesem freien Abfließen des Wassers einer armen Quelle entspricht der Fall, daß man den Conductor der Maschine mit dem Boden oder dem Reibzeuge in leitende Verbindung setzt. Alle Spannung, alle Anhäufung der Elektricität auf dem Conductor hört auf; der dünnste Draht ist schon im Stande, alle Elektricität vom Conductor vollständig abzuleiten, und diese frei abströmende Elektricität kann kaum Spuren der mächtigen Wirkungen hervorbringen, welche wir an galvanischen Apparaten beobachten.

Die galvanischen Apparate gleichen einer sehr reichen Quelle, die aber nur ein geringes Gefälle hat und deren Wasser in weiten Canälen frei abfließt. Die große Masse des strömenden Wassers übt nur einen geringen Druck auf die Wände aus, aber sie ist im Stande, mechanische Effecte hervorzubringen, Räder zu treiben u. s. w.

Wenn man eine große Leydener Flasche durch einen dünnen Draht entladet, so wird dieser, wie wir gesehen haben, glühend, weil eine ziemlich große Elektricitätsmenge auf einmal durch ihn hindurchgeht. Die Wirkung ist aber nur momentan; in einem Augenblicke geht alle Elektricität, welche man durch längeres Drehen der Maschine in der Flasche angehäuft hatte, durch den dünnen Draht hindurch. Ganz anders verhält es sich, wenn man die beiden Pole eines großplattigen galvanischen Apparates durch einen kurzen Draht verbindet. Der Draht wird glühend, selbst wenn er bei Weitem dicker ist als der Draht, den man durch den Entladungsschlag der Leydener Flasche ins Glühen bringt; das Glühen ist aber hier nicht momentan, es dauert fort, so lange der Strom durch den Draht hindurchgeht; in jedem Augenblicke liefert also der galvanische Apparat ungleich mehr Elektricität, als man durch längeres Drehen der Maschine in der Flasche anhäufen konnte.

Das Ohm'sche Gesetz. Die Beziehungen der Stromstärke zu der 221
Zahl und der Größe der Plattenpaare sind durch Ohm auf streng mathematische Formen zurückgeführt worden. Durch das nach seinem Urheber genannte Ohm'sche Gesetz, dessen Grundzüge sogleich näher entwickelt werden sollen, ist erst den Untersuchungen über die Stromstärke eine sichere Basis gegeben worden.

Damit ein elektrischer Strom durch einen Leiter hindurchgehen könne, ist es durchaus nöthig, daß die Elektricität an verschiedenen Stellen des Leiters eine ungleiche Spannung habe. Berührt man z. B. den Conductor einer Elektrisirmaschine mit einem Drahte, so strömt die Elektricität nur deshalb durch denselben ab, weil die starke Spannung der Elektricität auf dem Conductor dieselbe durch den Draht hindurchtreibt, weil also an dem einen Ende des Drahtes, da nämlich, wo er den Conductor berührt, eine stärkere Anhäufung von Elektricität stattfindet als am anderen; verbände man zwei gleiche, gleich stark mit derselben Elektricität geladene Conductoren durch einen Draht, so könnte kein Strom entstehen.

Wenn die Volta'sche Säule isolirt ist, so befinden sich die entgegengesetzten Elektricitäten an den Polen in dem Zustande der Spannung, und dieser Zustand kann unmöglich ganz verschwinden, wenn die beiden Pole durch einen Leiter verbunden werden, denn es könnte keine positive Elektricität von dem positiven Pole abströmen, wenn hier nicht eine größere Anhäufung dieser Elektricität stattfände; es ist eine gewisse Spannung der Elektricität, gleichsam ein gewisser Druck nöthig, damit eine Bewegung entstehe, damit die Leitungswiderstände in dem Leiter überwunden werden, durch welchen der Strom hindurchgehen soll.

Die Quantität der Elektricität, welche einen Leiter durchſtrömt, hängt alſo weſentlich von zwei Umſtänden ab, erſtens von dem zu überwindenden Leitungswiderſtande und zweitens von der Spannung, dem Drucke, welcher die Elektricität durch den Leiter hindurchtreibt, oder mit anderen Worten von der elektromotoriſchen Kraft, welche den Strom erzeugt; es iſt nun leicht einzuſehen, daß die Quantität der Elektricität, welche durch einen gegebenen Leiter in einer gegebenen Zeit hindurchgeht, im umgekehrten Verhältniſſe des Leitungswiderſtandes und im geraden Verhältniſſe der elektromotoriſchen Kraft ſtehen muß, daß alſo

$$S = \frac{E}{L} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

wenn S die Stromſtärke, E die elektromotoriſche Kraft der Säule und L den geſammten Leitungswiderſtand der Kette bezeichnet.

Der Widerſtand L zerfällt in zwei Theile, er beſteht nämlich erſtens aus dem Widerſtande, welcher innerhalb des Elektromotors ſelbſt zu überwinden iſt und welchen wir den weſentlichen Leitungswiderſtand der Säule nennen und mit λ bezeichnen wollen, und aus dem Widerſtande des zwiſchen die Pole der Säule eingeſchalteten Schließungsbogens, welcher mit l bezeichnet werden ſoll. Es iſt alſo $L = \lambda + l$, und demnach geht Gleichung 1) über in

$$S = \frac{E}{\lambda + l} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 2)$$

Zur experimentellen Beſtätigung des durch die Gleichung 2) ausgeſprochenen Geſetzes mag eine Verſuchsreihe dienen, bei welcher als Elektromotor ein einfacher Bunſen'ſcher Becher diente. Als der Schließungsbogen nur aus dem kurzen dicken Zuleitungsdrahte und der Tangentenbuſſole beſtand, war die an letzterer abgeleſene Ablenkung 62°. Als nun der Reihe nach Kupferdrähte von ſtets gleicher Dicke eingeſchaltet wurden, deren Länge 5, 10, 40 u. ſ. w. Meter betrug, der geſammte Leitungswiderſtand alſo $\lambda + 5$, $\lambda + 10$, $\lambda + 40$ u. ſ. w. wurde (wenn mit λ der Widerſtand des Elektromotors ſammt dem unbedeutenden Widerſtande der Tangentenbuſſole und dem kurzen dicken Zuleitungsdrahte bezeichnet wird), ergaben ſich die zuſammengehörigen Werthe der Widerſtände und der Ablenkungen, wie ſie in folgender Tabelle zuſammengeſtellt ſind. Die dritte Columne dieſer Tabelle enthält die Tangenten der in der zweiten Columne aufgeführten Ablenkungswinkel.

Länge der Kette.	Beobachtete Ablenkung.	Tangente des Ablenkungswinkels.
λ	62°00′	1,880
$\lambda + 5$	40 20	0,849
$\lambda + 10$	28 30	0,543
$\lambda + 40$	9 45	0,172
$\lambda + 70$	6 00	0,105
$\lambda + 100$	4 15	0,074

Nehmen wir die Tangenten der Ablenkungswinkel zum Maß der Stromstärke, so wird Gleichung 2) für die Data des ersten Versuchs

$$1{,}88 = \frac{E}{\lambda},$$

für die Data des zweiten Versuchs aber wird sie

$$0{,}849 = \frac{E}{\lambda + 5}.$$

Aus der Combination dieser beiden Gleichungen ergiebt sich

$$\lambda = 4{,}11 \text{ und } E = 7{,}727,$$

der wesentliche Leitungswiderstand des elektromotorischen Bechers ist also in diesem Falle gleich dem Leitungswiderstande eines 4,11 Meter langen Kupferdrahtes von derselben Dicke, wie der, welchen man zu den Einschaltungen verwendete.

Setzen wir diese Werthe von λ und E in Gleichung 2), so wird sie

$$S = \frac{7{,}727}{4{,}11 + l} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 3)$$

Danach ergeben sich aber folgende zusammengehörige Werthe von l und S:

l	S
10	0,547
40	0,175
70	0,104
100	0,074

Diese berechneten Stromstärken sind aber in der That so nahe gleich den für die Einschaltungen 10, 40 u. s. w. beobachteten und in der dritten Columne

der obigen Tafel angeführten, daß diese Versuchsreihe eine vollkommene Bestätigung des Ohm'schen Gesetzes liefert.

Bezeichnen wir mit e die elektromotorische Kraft und mit r den wesentlichen Widerstand eines Plattenpaares, also eines elektromotorischen Bechers, so ist die elektromotorische Kraft E einer aus n solchen Plattenpaaren oder Bechern zusammengesetzten Säule gleich ne, der wesentliche Leitungswiderstand λ dieser Säule ist aber nr. Wird zwischen den Polen dieser Säule ein Widerstand l eingeschaltet, so ist also die Stromstärke

$$S = \frac{ne}{nr + l} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 4)$$

Für den Fall, daß der Widerstand l des Schließungsbogens verschwindend klein ist gegen den wesentlichen Leitungswiderstand nr der Säule, reducirt sich Gleichung 4) auf

$$S = \frac{ne}{nr} = \frac{e}{r};$$

eine Säule von n Plattenpaaren bringt also in diesem Falle keine größere Wirkung hervor als ein einzelnes Plattenpaar.

Um die Richtigkeit dieser Folgerung durch den Versuch nachzuweisen, wurde der Reihe nach eine Säule von 1, 2, 3 u. s. w. bis 6 Bechern durch die Tangentenbussole und kurze dicke Zuleitungsdrähte geschlossen, so daß der Leitungswiderstand l des Schließungsbogens, wenn auch nicht Null, doch sehr gering war. Es ergab sich

für eine	Säule	von	1	Becher	eine	Ablenkung	von	67°
„	„	„	2	Bechern	„	„	„	66,5
„	„	„	3	„	„	„	„	67,5
„	„	„	4	„	„	„	„	69
„	„	„	5	„	„	„	„	68
„	„	„	6	„	„	„	„	64

Man sieht, daß hier in der That die Vermehrung der zur Säule verbundenen Plattenpaare die Stromstärke nicht vermehrt. Wenn sie sogar etwas abnimmt, so liegt der Grund davon eben nur darin, daß der Leitungswiderstand der einzelnen Becher nicht ganz gleich war.

Wenn dagegen der Leitungswiderstand l des Schließungsbogens einen bedeutenden Werth hat, so wächst der Zähler des Bruches 4) bei Vermehrung der Becherzahl n in rascherem Verhältniß als der Nenner, die Vermehrung der hintereinander zur Säule verbundenen Plattenpaare muß also in diesem Falle auch eine Vergrößerung der Stromstärke zur Folge haben, was auch durch folgenden Versuch bestätigt wird.

Zwischen die Pole eines einzigen Zinkkohlenbechers wurde außer der Tangentenbussole noch ein 40 Meter langer dünner Kupferdraht eingeschaltet; die bei dieser Anordnung beobachtete Ablenkung der Tangentenbussole betrug 11°.

Als nun bei unverändertem Schließungsbogen der eine Zinkkohlenbecher durch

eine Säule von 6 solchen Zinkkohlenbechern ersetzt wurde, stieg die Ablenkung auf 39°.

Nachdem wir untersucht haben, welchen Einfluß unter verschiedenen Umständen die Vermehrung der zur Säule verbundenen Plattenpaare auf die Stromstärke hat, wollen wir nun den Einfluß der Vergrößerung der Plattenpaare betrachten.

Die Stromstärke, welche ein Plattenpaar hervorbringt, ist

$$S = \frac{e}{r + l},$$

wenn S, e, r und l die obige Bedeutung haben. Wird unter sonst gleichen Umständen das Plattenpaar $n$mal größer gemacht, so hat dies zur Folge, daß der Leitungswiderstand des Elektromotors n mal kleiner, daß er $\frac{r}{n}$ wird, weil ja der Querschnitt der zu durchströmenden Flüssigkeitsschicht n mal größer wird; für ein n mal größeres Plattenpaar haben wir also

$$S = \frac{e}{\frac{r}{n} + l},$$

eine Gleichung, welche sich auf

$$S = \frac{n\,e}{r}$$

reducirt, wenn l verschwindend klein gegen $\frac{r}{n}$ ist. Bei sehr geringem Leitungswiderstand des Schließungsbogens, für welchen, wie wir gesehen haben, die Vermehrung der zur Säule verbundenen Plattenpaare keinen Vortheil bringt, wird also die Stromstärke durch Vergrößerung der Plattenpaare vermehrt.

Dieses aus dem Ohm'schen Gesetze gezogene Resultat wird durch folgenden Versuch bestätigt.

Ein einzelner Zinkkohlenbecher, durch kurze dicke Kupferdrähte mit der Tangentenbussole verbunden, gab einen Ausschlag von 43°.

Als aber drei solcher Becher in der Weise combinirt wurden, daß einerseits alle drei Zinkplatten, andererseits aber alle drei Kohlencylinder mit einander verbunden waren, daß also die drei Becher ein einziges Plattenpaar von der dreifachen Oberfläche des einzelnen Bechers darstellten, stieg die Ablenkung auf 67°.

Leitungsfähigkeit der Metalle. Bei den so eben angeführten 222
Versuchen wurden Drahtstücke von verschiedener Länge und gleicher Dicke in den Schließungsbogen der Kette eingeschaltet und dadurch das Verhältniß der Stromstärke zur Länge des Schließungsdrahtes ermittelt. Wenn man nun dagegen gleich lange, aber ungleich dicke Drähte desselben Metalles in den Schließungsbogen einschaltet und immer die entsprechenden Ablenkungen der Nadel der Tan-

gentenbussole beobachtet, so ergiebt sich aus diesen Versuchen das Verhältniß des Leitungswiderstandes der Drähte zu ihrem Durchmesser; man findet: daß der Leitungswiderstand dem Querschnitte der Drähte umgekehrt proportional ist; oder mit anderen Worten: zwei Drähte desselben Metalls werden gleichen Leitungswiderstand ausüben, wenn sich ihre Längen umgekehrt verhalten wie ihre Querschnitte.

Um die Leitungsfähigkeit verschiedener Metalle mit einander zu vergleichen, ist wohl keine Methode einfacher und sicherer, als den Strom eines hinlänglich kräftigen Elementes durch die Tangentenbussole zu leiten, Drähte verschiedener Metalle von gleicher Länge und Dicke in den Schließungsbogen einzuschalten und die entsprechenden Ablenkungen zu beobachten.

Folgende sind die Werthe des Leitungswiderstandes verschiedener Metalle:

Silber	0,95
Gold	1,38
Kupfer	1,00
Zink	3,69
Eisen	5,88
Platin	6,66
Neusilber	11,30
Quecksilber	50,00

d. h. wenn wir den Leitungswiderstand eines Kupferdrahtes mit 1 bezeichnen, so ist der eines gleich langen und gleich dicken Drahtes von Eisen, Platin u. s. w. gleich 5,88; 6,66 u. s. w.

223 **Leitungswiderstand der Flüssigkeiten.** Die Leitungsfähigkeit der Flüssigkeiten ist bedeutend geringer als die der Metalle. So ist z. B. der Leitungswiderstand einer Säule von gesättigter Kochsalzlösung 3 Millionen mal größer als der Leitungswiderstand eines Kupferstabes von gleicher Länge und gleicher Dicke. Wenn man in diesem Sinne den Leitungswiderstand des Kupfers zur Einheit nimmt, so ist der Leitungswiderstand einer gesättigten Lösung von

Kupfervitriol	18 000 000
Zinkvitriol	17 000 000
Kochsalz	3 000 000

Es ist ferner der Leitungswiderstand der

käuflichen Salpetersäure	1 600 000
der verdünnten Schwefelsäure (1 Vol. Vitriolöl auf 12 Vol. Wasser)	1 130 000.

Wenn man den Strom einer galvanischen Säule durch eine Flüssigkeit hindurchleitet, so erleidet die Stromstärke eine doppelte Schwächung, einmal weil der bedeutende Leitungswiderstand der Flüssigkeit zu überwinden ist, dann aber noch, weil eine bedeutende Schwächung der elektromotorischen Kraft stattfindet und zwar in Folge der galvanischen Polarisation, die wir bereits in §. 218 betrachtet haben.

Vergleichung verschiedener Rheomotoren. Um den Ef- 224
fect verschiedener Volta'scher Ketten beurtheilen zu können, muß man ihre elektromotorische Kraft und den Leitungswiderstand derselben kennen; diese lassen sich aber nach dem Ohm'schen Gesetze sehr einfach bestimmen; es reichen dazu zwei Messungen der Stromstärke hin, einmal bei vollkommener Schließung, einmal nach Einschaltung eines Drahtes von bekanntem Leitungswiderstande.

Um solche Bestimmungen vergleichbar zu machen, muß man sich über eine bestimmte Einheit des Leitungswiderstandes und der Stromstärke vereinigen. — Als Einheit des Leitungswiderstandes nehmen die meisten Physiker jetzt den eines Kupferdrahtes von 1 Meter Länge und 1 Millimeter Durchmesser; als Einheit der Stromstärke einen Strom, welcher, durch ein Voltameter gehend, in einer Minute 1 Cubikcentimeter Knallgas liefert.

In der Regel mißt man die Stromstärke freilich nicht mit dem Voltameter, sondern mit der Tangentenbussole; es ist aber leicht, die Angaben jeder Tangentenbussole auf Wasserzersetzung zu reduciren; man lasse nur einen Strom gleichzeitig durch ein Voltameter und die Tangentenbussole gehen, beobachte die Ablenkung letzterer und die Menge des in einer Minute entwickelten Knallgases, so ergiebt sich aus einer solchen Beobachtung, mit welcher Zahl man die Tangente des Ablenkungswinkels multipliciren muß, um die entsprechende Knallgasmenge (in Cubikcentimetern ausgedrückt) zu erhalten.

Um den Reductionsfactor genau zu erhalten, wird man sich freilich nicht mit einer einzigen Vergleichung der Art begnügen, sondern man wird mehrere anstellen und aus ihnen das Mittel nehmen.

Diese Einheiten zu Grunde legend fand man z. B., daß ein Bunsen'sches Element, nur durch die Tangentenbussole geschlossen, die Stromstärke 50 gab; es ist also:

$$\frac{E}{R} = 50 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1),$$

wenn wir mit E die elektromotorische Kraft, mit R den wesentlichen Leitungswiderstand des Elementes bezeichnen.

Nach Einschaltung eines 69 Meter langen Kupferdrahtes von 1 Millimeter Durchmesser sank die Stromstärke auf 10, es ist also:

$$\frac{E}{R + 69} = 10 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2);$$

aus der Combination der beiden Gleichungen 1) und 2) ergiebt sich:

$$R = 17 \quad E = 850.$$

Als Mittel mehrerer Versuche der Art hat man für die elektromotorische Kraft verschiedener galvanischer Elemente folgende Werthe gefunden:

Bunsen'scher Becher	840
Grove'scher Becher	820
Daniell'scher Becher	470
Wollaston'sches Plattenpaar . . .	210.

Die Differenz der elektromotorischen Kraft der Wollaston'schen und der Daniell'schen Kette hat ihren Grund lediglich darin, daß die elektromotorische

Kraft der ersteren durch die galvanische Polarisation geschwächt ist, welche bei der Daniell'schen Kette dadurch, daß das Kupfer in einer Lösung von Kupfervitriol steht, aufgehoben wird.

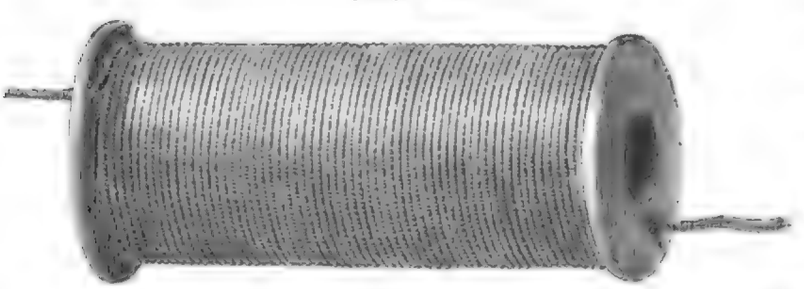
Die Größe der Plattenpaare und der Concentrationsgrad der Flüssigkeiten haben keinen Einfluß auf die Größe der elektromotorischen Kraft, wohl aber auf die Größe des Leitungswiderstandes.

225 **Magnetisirung durch den galvanischen Strom.** Nachdem wir die Ablenkung der Magnetnadel durch den galvanischen Strom und die darauf gegründeten Apparate zur Messung des galvanischen Stromes kennen gelernt hatten, benutzten wir dieselben, um die wichtigsten Gesetze der Stromstärke zu ermitteln. Wir kehren jetzt zur Betrachtung der magnetisirenden Wirkungen des Stromes zurück.

Der elektrische Strom wirkt nicht allein richtend auf den freien Magnetismus, sondern er wirkt auch magnetisirend auf weiches Eisen und Stahl, was sich schon dadurch zeigt, daß ein von einem kräftigen Strome durchflossener Leitungsdraht Eisenfeile anzieht. — Um einen Eisenstab zu magnetisiren, muß man den Strom mehrfach um denselben herumführen, was dadurch geschieht, daß man den mit Seide oder Wolle übersponnenen Leitungsdraht spiralförmig um das Eisen herumwindet. Statt die Drahtwindungen direct auf dem Eisen anzubringen, ist es aber zweckmäßiger, den Draht auf eine Spule von Holz (damit man die Spirale auch zu Inductionsversuchen anwenden kann) aufzuwinden und den zu magnetisirenden Eisenstab in die Höhlung derselben hineinzuschieben.

Fig. 450 stellt eine solche Magnetisirungsspirale dar. Man hat deren von sehr verschiedenen Größen und Drahtdimensionen. Für sehr kräftige Wirkungen werden Magnetisirungsspiralen angewandt, welche aus 800 bis 1000 Windungen eines $^1/_2$ bis 1 Linie dicken Kupferdrahtes bestehen, die natürlich in mehreren Lagen über einander liegen.

Fig. 450.



Schiebt man nun einen Eisenstab in eine solche Spirale hinein, so wird er magnetisch, sobald ein elektrischer Strom die Spirale durchläuft. Ragen die Enden des Eisenstabes aus der Spirale hervor, so kann man Eisenstücke an dieselben anhängen, welche aber sogleich wieder abfallen, sobald der Strom unterbrochen wird, welcher den Draht durchläuft. Das weiche Eisen bleibt also nur so lange magnetisch, als es dem magnetisirenden Einflusse ausgesetzt ist.

Was die Polarität der beiden Enden des Eisenstabes betrifft, so ist dieselbe nach den Bemerkungen auf S. 395 leicht zu bestimmen; dasjenige Ende, welches, dem Beschauer zugewandt, vom positiven Strome in der Richtung umkreist erscheint, in welcher sich der Zeiger einer Uhr dreht, ist der Südpol, d. h. derjenige

Pol, welcher sich nach Süden richten würde, wenn der Elektromagnet (so nennt man nämlich Eisenstäbe, welche durch den Einfluß des galvanischen Stromes in temporäre Magneten verwandelt sind) sich frei in der Horizontalebene drehen könnte.

Fig. 451 dient, um das Gesetz der Polarität zu erläutern.

Wie den Stahlmagneten, so giebt man auch den Elektromagneten eine U-förmige Gestalt, wenn man eine große Tragkraft erzielen will, Fig. 452.

Für manche Versuche, namentlich für die diamagnetischen, die wir weiter unten werden kennen lernen, ist es wünschenswerth, daß die beiden Pole des Elektromagnets nach oben gerichtet sind. Eine für diese Zwecke geeignete Aufstellung des Elektromagnets ist Fig. 453 ungefähr in $^1/_5$ der natürlichen Größe dargestellt.

Um die Tragkraft solcher Elektromagnete zu prüfen, setzt man auf die Pole einen Anker von der Form Fig. 454; in das Ohr desselben wird ein eiserner

Fig. 451.

Fig. 452.

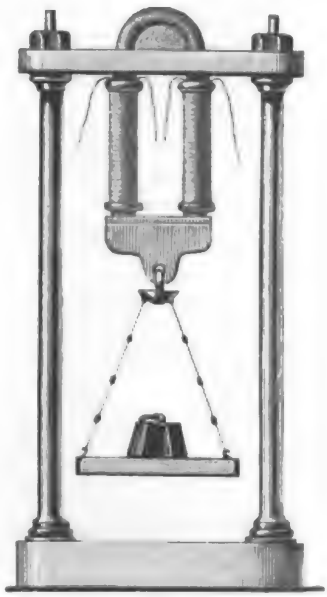


Fig. 453.

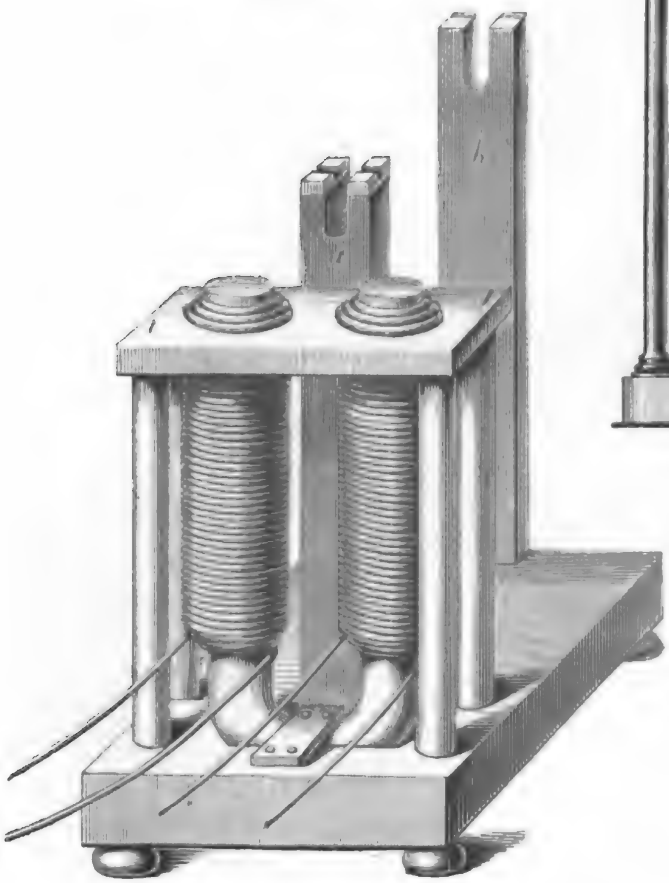


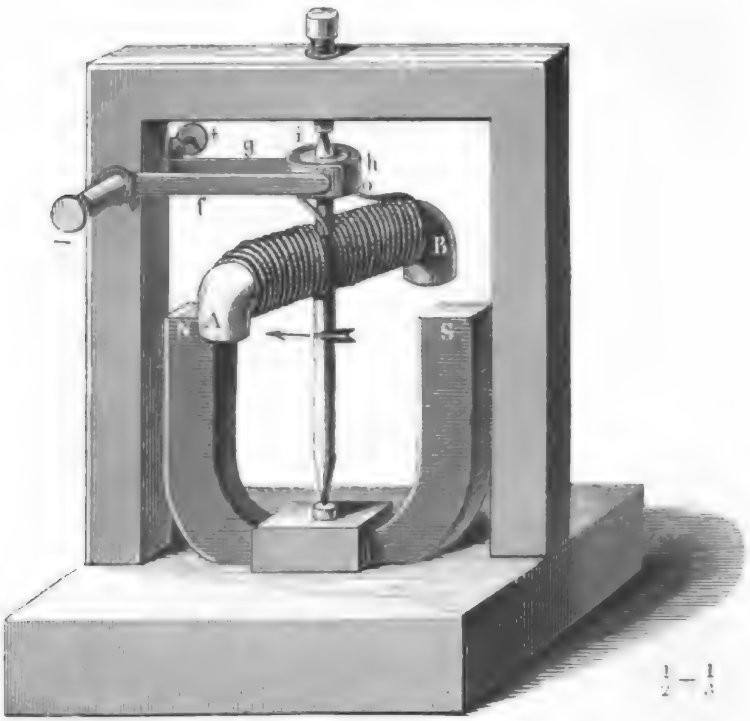
Fig. 454.

Hebel eingeſetzt, deſſen Stützpunkt auf der Säule *a* ruht; am anderen Ende des Hebels werden entſprechende Gewichte angehängt. Die Säule *b* dient, um den Hebel aufzuhalten, wenn er abgeriſſen wird.

Der Elektromagnetismus liefert ein treffliches Mittel, Stahlnadeln oder Stahlſtäbe zu magnetiſiren; man braucht ſie nur einige Male in einer von einem ſtarken Strome durchfloſſenen kurzen und dicken Magnetiſirungsſpirale hin und her zu ſchieben. Zur Magnetiſirung ſehr harter Stahlſtäbe zeigt ſich das Streichen auf den Polen eines Elektromagnets noch wirkſamer.

226 **Elektromagnetiſche Motoren.** Die kräftigen magnetiſchen Wirkungen, welche der elektriſche Strom hervorzubringen im Stande iſt, führten auf die Idee, denſelben als bewegende Kraft zu benutzen. Die Fig. 455 zeigt einen Apparat, welcher ſehr geeignet iſt, zu zeigen, wie man durch die magnetiſirende Wirkung des galvaniſchen Stromes eine continuirliche Bewegung hervorbringen kann.

Fig. 455.



Ein U-förmiger Stahlmagnet iſt auf einem Brette ſo befeſtigt, daß er vertical ſteht und ſeine Pole nach oben gerichtet ſind. In der Mitte zwiſchen den beiden Schenkeln deſſelben befindet ſich eine verticale ſtählerne Axe, welche in Spitzen läuft, und an welcher ein horizontaler Elektromagnet befeſtigt iſt, deſſen Pole bei der Rotation um die verticale Axe gerade über den Polen des Stahlmagnets hinweggehen. — Ueber dem Elektromagnet iſt auf der eiſernen Axe eine Scheibe von Holz befeſtigt, welche von einem Meſſingringe um-

geben ist. Dieser Ring bildet aber kein Ganzes, sondern er besteht aus zwei Hälften h und i, welche durch zwei einander diametral gegenüberliegende Zwischenräume von einander getrennt sind, also nicht in leitender Verbindung stehen, wie man in der Figur deutlich sieht.

Das eine Ende o der Drahtwindungen, welche den Eisenkern des Elektromagnets umkreisen, ist nun an dem Halbringe h, das andere Drahtende ist an dem Halbringe i angelöthet.

Auf dem Umfange der eben besprochenen Scheibe schleifen zu beiden Seiten zwei Metallfedern f und g, auf deren äußeren Enden die Klemmschrauben befestigt sind, welche zur Aufnahme der Poldrähte der Batterie dienen.

Nehmen wir an, in die vordere Klemmschraube sei der negative, in die hintere sei der positive Poldraht eingeschraubt, so wird bei der in unserer Figur dargestellten Lage der positive Strom durch die Feder g zum Halbringe h und von diesem durch o in die Windungen gelangen, während die vordere Feder auf dem Halbringe i schleift, also der positive Strom aus den Windungen über i und durch die Feder f austritt. Unter diesen Umständen wird das vordere Ende A des umströmten Eisens ein Südpol, A wird also von N und B von S angezogen, der Elektromagnet dreht sich demnach in der durch den Pfeil angegebenen Richtung.

In dem Momente, in welchem A über N und B über S passirt, gehen die isolirenden Zwischenräume zwischen h und i unter den Federn weg, die Feder f kommt auf h und g kommt auf i zu liegen, was einen Stromwechsel und eine Umkehrung der Polarität des Elektromagnets zur Folge hat. A wird nun von N und B wird von S abgestoßen, die Rotation dauert also in gleicher Richtung fort. Sobald A wieder über S und B über N ankommt, findet ein abermaliger Polwechsel Statt, durch welchen der Elektromagnet abermals in gleicher Richtung fortgetrieben wird.

Apparate, die nach diesem Principe im Großen ausgeführt wurden, lieferten keine günstigen Resultate. Sehr wesentlich wirkt dazu der Umstand mit, daß das rotirende weiche Eisen nicht so schnell die Pole vollständig umkehrt, als der Strom in dem ihn umgebenden Drahte gewechselt wird; der rotirende Elektromagnet erhält also nie die volle magnetische Kraft, wie sie dem Strome entspräche; dies ist nun um so mehr der Fall, je bedeutender die Masse des rotirenden Elektromagnets ist und je schneller die Rotation vor sich geht.

Stöhrer hat einen Apparat construirt, in welchem dieser Uebelstand vermieden wird; dessenungeachtet sind die Kosten, welche der Betrieb einer elektromagnetischen Maschine erfordert, zu groß, als daß man hoffen dürfte, den Elektromagnetismus als bewegende Kraft anwendbar zu machen.

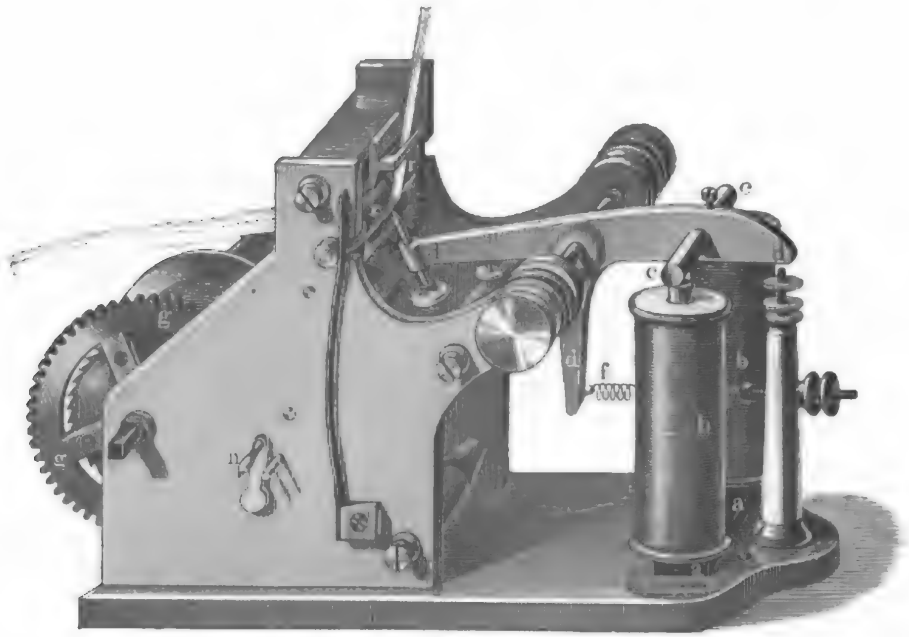
Elektrische Telegraphen. Praktisch sind bis jetzt nur diejenigen 227
Anwendungen des galvanischen Stromes geworden, zu welchen eine geringe Stromstärke hinreicht, und dahin gehört vorzugsweise die elektrische Telegraphie.

Unter den verschiedenen Apparaten, die man zu diesem Zwecke construirt

hat, iſt Morſe's Drucktelegraph der einfachſte und wohl auch der zweckmäßigſte.

Fig. 456 ſtellt den Morſe'ſchen Schreibapparat in $^1/_3$ der natürlichen Größe dar. Auf einer eiſernen Platte a ſind zwei Stäbchen von Eiſen be-

Fig. 456.



feſtigt, welche, mit den Magnetiſirungsſpiralen b umgeben, einen Elektromagneten bilden. Ueber den Polen ſchwebt in einiger Entfernung der Eiſenſtab c, welcher in dem Meſſinghebel d ſteckt. Sobald die Eiſenkerne magnetiſch werden, wird das rechte Ende des Hebels d niedergezogen; wenn die Eiſenkerne ihren Magnetismus verlieren, ſo wird der Hebel d durch eine an einem Seitenarme ziehende Feder f in ſeine alte Stellung zurückgezogen.

Der Hebelarm d ſchlägt mit ſeinem Ende auf der rechten Seite ſchon auf, bevor noch der Anker c vollſtändig in Berührung mit den Polen des Elektromagnets gekommen iſt, weil bei vollkommen anliegendem Anker der Elektromagnet nach Unterbrechung des Stromes ſeinen Magnetismus nicht ganz verliert, wodurch der Gang des Apparates ſehr erſchwert und unſicher werden würde.

An ſeinem linken Ende trägt der Hebel d einen Stahlſtift, welcher bei jedem Niedergange des Ankers c gegen einen Papierſtreifen gedrückt wird, den ein Uhrwerk mit gleichmäßiger Geſchwindigkeit fortzieht.

Das erſte Rad g dieſes Uhrwerkes wird durch ein an der Welle deſſelben angehängtes Gewicht langſam umgedreht, und dieſe Bewegung wird durch mehrere Zwiſchenräder auf die Walze h übertragen, welche ſich mit größerer Geſchwindigkeit umdreht. Die Umdrehung der Walze h bewirkt durch Reibung

die Umdrehung der gleich großen Walze *r*. Zwiſchen beiden ſteckt ein Papierſtreifen, welcher von einer, etwa an der Decke des Zimmers befeſtigten Rolle kommt. Iſt das Uhrwerk im Gange, ſo wird der Papierſtreifen mit gleichförmiger Geſchwindigkeit, ungefähr 1 Zoll in der Secunde, fortgezogen.

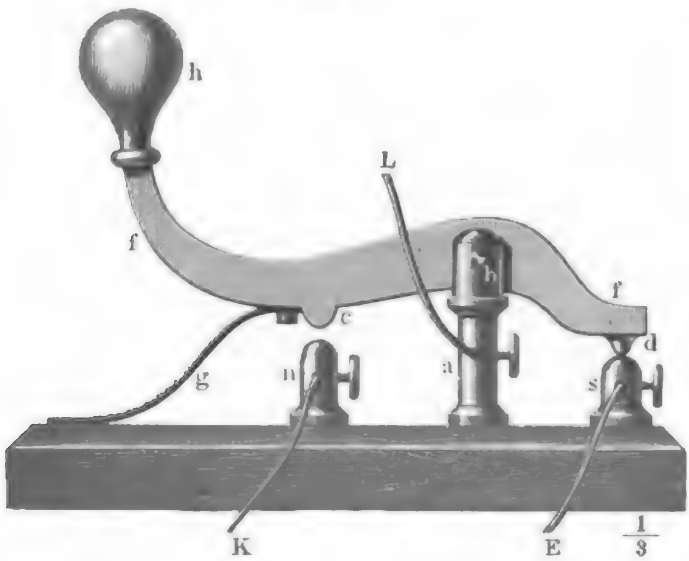
In der Mitte der Rolle *r* befindet ſich eine ringförmige, theilweiſe in unſerer Figur ſichtbare Rinne. In dieſe Rinne wird nun der Stift hineingedrückt, wenn *c* niedergezogen wird; es preßt alſo der Stift eine Vertiefung in den die Rinne überdeckenden Papierſtreifen. Wird der galvaniſche Strom nur für einen Augenblick geſchloſſen, ſo drückt der Stift einen Punkt in das Papier; bleibt aber der Strom einige Zeit geſchloſſen, ſo entſteht ein Strich, weil ja das Papier unterdeſſen fortgezogen wird. Aus Punkten und Strichen iſt nun das Alphabet zuſammengeſetzt, und zwar das bei uns übliche folgendermaßen:

a · —	f · · — ·	l · — · ·	q — — · —	v · · · —
b — · · ·	g — — ·	m — —	r · — ·	w · — —
c — · — ·	h · · · ·	n — ·	s · · ·	x · · — · ·
d — · ·	i · ·	o · — · · ·	t —	y — — · ·
e .	k — · —	p · · · · ·	u · · —	z · — — · ·

Aehnliche Zeichen hat man für Zahlen, für Interpunctionszeichen u. ſ. w.

Zum ſicheren Schließen und Oeffnen der Kette dient ein Apparat, welcher den Namen des Schlüſſels führt. Der Schlüſſel des Morſe'ſchen Apparates iſt Fig. 457 in $^1/_3$ der natürlichen Größe abgebildet. Auf einem Brettchen

Fig. 457.



iſt ein Meſſingſäulchen *a* aufgeſetzt, in welchem die horizontale ſtählerne Drehungsaxe des meſſingenen Hebels *f* befeſtigt iſt. Dieſer Hebel wird durch eine Stahlfeder *g* aufwärts gedrückt, ſo daß die Meſſingwarze *d* auf dem Meſſingſäulchen *s* ſteht. Drückt man den Hebel, am Handgriff *h* anfaſſend, nieder, ſo kommt die Hervorragung *c* des Hebels *f* mit dem Meſſingſäulchen *n* in Be-

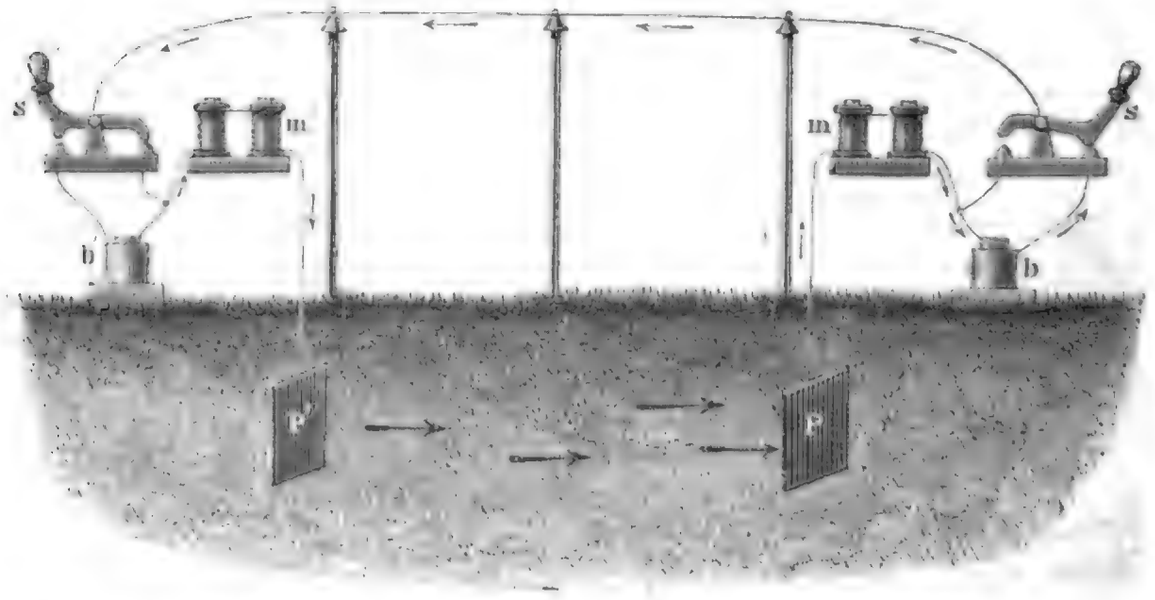
rührung, während die vordere Spitze des Hebels nun in die Höhe gehoben ist, also nicht mehr mit dem Säulchen s in leitender Verbindung steht.

Das Messingsäulchen a ist durch den Draht L mit der Drahtleitung in Verbindung gesetzt, welche zur nächsten Station führt.

Von n führt ein Draht K zu dem einen Pol, etwa dem Kupferpol der galvanischen Batterie. Von s geht ein Draht E aus, der sich alsbald spaltet, indem der eine Theil zum Zinkpol der Batterie, der andere zu den Windungen des Elektromagnets führt, von dem aus dann die Leitung weiter zu einer in den feuchten Boden vergrabenen Kupferplatte, der sogenannten Erdplatte geführt ist.

Fig. 458 stellt zwei mit einander verbundene Stationen dar. b und b' sind die Batterien, s und s' sind die Schlüssel, m und m' sind die Elektromagnete.

Fig. 458.



Sind beide Schlüssel in der Ruhelage, wie es in unserer Figur bei dem Schlüssel der Station links der Fall ist, so kann kein Strom entstehen, denn bei dem Messingkegel n (siehe Fig. 457) findet sich eine Unterbrechung der Leitung. Wird aber der Schlüssel auf einer Station niedergedrückt, wie es in unserer Figur für die Station rechts der Fall ist, so ist der Schließungsbogen für die Batterie dieser Station hergestellt, der Strom geht vom positiven Pol der Batterie b durch den Schlüssel s zum Leitungsdraht, welcher den Strom zum Schlüssel s' der anderen Station führt; von diesem gelangt der Strom zu den Windungen des Elektromagnets m', zur Erdplatte P', geht dann durch den Erdboden über P und m zum negativen Pol von b zurück, wie wenn dieser Lauf des Stromes durch die Pfeile hinlänglich bezeichnet ist.

So umkreist denn der auf der Station rechts erzeugte Strom die Elektromagnete beider Stationen; die Batterie b' der anderen Station ist nicht geschlossen, kann also keinen Strom aussenden.

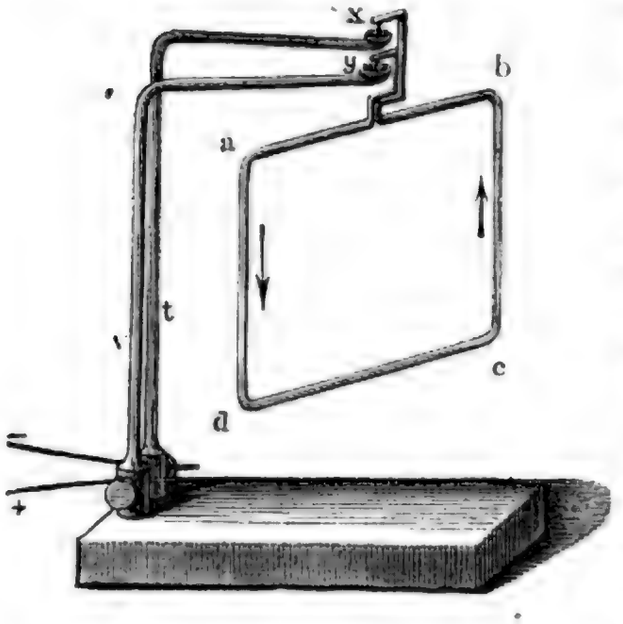
Will der Telegraphist der einen Station, etwa der rechten, eine Depesche

abgehen lassen, so drückt er mehrmals rasch hinter einander seinen Schlüssel nieder, wodurch ein abwechselndes An- und Abziehen der Anker beider Elektromagnete erfolgt. Das dadurch hervorgebrachte Klappern macht den Telegraphisten der anderen Station aufmerksam, welcher nun, nachdem er auf ähnliche Weise geantwortet hat, sein Uhrwerk mittelst des kleinen Hebels *n*, Fig. 456, auslöst und sein Gehwerk laufen läßt. Der Telegraphist der sprechenden Station drückt nun in den gehörigen Intervallen seinen Schlüssel nieder, um dadurch auf dem Papierstreifen der anderen Station die beabsichtigten Zeichen, Punkte und Striche, hervorzubringen. Zum Zeichen, daß die Depesche beendigt ist, macht er eine Reihe von 20 bis 30 gleichmäßig auf einander folgenden Punkten. Nun antwortet der Empfänger „verstanden", oder er verlangt die Wiederholung etwa undeutlich gebliebener Stellen.

Richtung der Ströme durch Magnete. Da der Strom eine 228
Wirkung auf den Magneten hervorbringt, so konnte man nicht zweifeln, daß auch umgekehrt die Magnete eine gleiche Wirkung auf den Strom ausüben, ihn also auch zu richten und auf verschiedene Weise zu bewegen im Stande sind. Ebenso muß der Erdmagnetismus richtend auf einen Stromleiter wirken und ihn ähnlich wie die Magnetnadel in eine bestimmte Stellung bringen, wenn dieser Stromleiter nur beweglich genug ist. Dies wird nun durch das Ampère'sche Gestell erreicht.

Fig. 459 stellt zwei verticale Säulen von Messing dar, welche auf einem Fuße von Holz befestigt sind; oben tragen sie horizontale Arme, die mit den Quecksilbernäpfchen *x* und *y* endigen, deren Mittelpunkte genau vertical unter einander stehen. Die beiden Säulen sind nirgends in leitender Berührung. Unten sind sie etwas dicker, so daß man die zu den Polen eines galvanischen Rheomotors führenden Leitungsdrähte einschrauben kann; dadurch wird das eine Quecksilbernäpfchen gewissermaßen zum positiven, das andere zum negativen Pole.

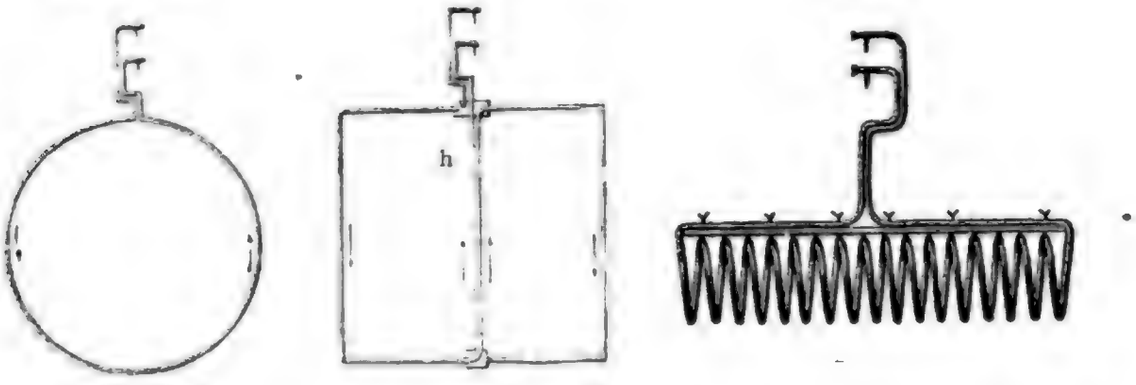
Fig. 459.



In diese Quecksilbernäpfchen wird nun ein Leitungsdraht eingehängt, welcher zum Rechteck gebogen ist, wie Fig. 459, oder kreisförmig, wie Fig. 460. Da, wo sich die beiden Drahtenden zu berühren scheinen, sind sie durch eine isolirende Substanz getrennt; sie sind oben umgebogen und mit Stahlspitzen versehen, die in die Näpfchen *x* und *y*, Fig. 459, eingetaucht werden. Die eine Spitze geht bis auf den Boden des Näpfchens und ruht hier auf einer kleinen

Glasplatte, die andere Spitze taucht nur in das Quecksilber ein. Durch diese Aufhängung ist der Draht ungemein leicht beweglich.

Fig. 460. Fig. 461. Fig. 462.



Läßt man nun einen Strom hindurchgehen, so stellt sich die Ebene des Drahtes rechtwinklig auf den magnetischen Meridian, und zwar so, daß der positive Strom auf der Westseite aufsteigt.

Kehrt man den Strom um, so macht der Draht um seine verticale Umdrehungsaxe eine halbe Umdrehung und kommt dann erst wieder ins Gleichgewicht.

Um den Strom rasch umkehren zu können, benutzt man Vorrichtungen, die unter dem Namen des Stromwenders, des Commutators oder des Gyrotrops bekannt sind. Wir können hier nicht näher auf ihre Beschreibung eingehen.

Fig. 461 stellt einen astatischen Stromleiter dar. Der Erdmagnetismus strebt jede Hälfte in entgegengesetzter Richtung zu drehen als die andere, er übt also keine richtende Kraft auf das System aus. Ein Schraubendraht, das sogenannte Solenoid, Fig. 462, an dem Ampère'schen Stativ aufgehängt und von einem Strome durchlaufen, muß sich so stellen, daß die Axe des Schraubendrahtes in die Richtung der Declinationsnadel fällt.

Es geht daraus nicht allein hervor, daß auf diese Weise die Declinationsnadel durch einen Schraubendraht nachgeahmt werden kann, sondern auch, daß der Südpol derjenige ist, in welchem, wenn man ihn von seiner Seite her betrachtet, der Strom sich bewegt, wie der Zeiger einer Uhr.

Das Stäbchen, welches den verschiedenen Windungen des Schraubendrahtes Fig. 462 zur Befestigung dient, besteht aus einer nichtleitenden Substanz.

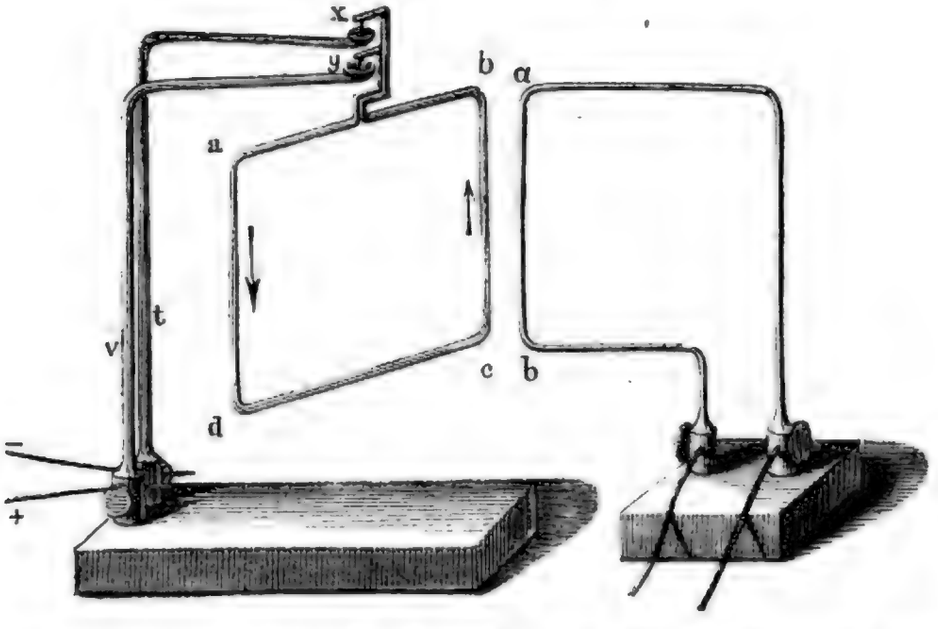
Wenn man den Schraubendrähten, welche wir so eben betrachtet haben, einen Magnetstab nähert, so kann man ganz ähnliche Erscheinungen beobachten, als ob man den Magnetstab einer Declinationsnadel näherte. Ueberhaupt werden natürlicher Weise alle in diesem Paragraphen betrachteten Apparate auch durch Magnetstäbe afficirt werden.

229 **Gegenseitige Wirkung galvanischer Ströme auf einander.** Zwei parallele Ströme üben immer eine Wirkung auf einander aus

welche mehr oder weniger lebhaft ist, je nach ihrer Entfernung, ihrer Intensität und ihrer Länge. Betrachtet man nun die Richtung der hervorgebrachten Bewegung, so ist diese folgendem einfachen Gesetze unterworfen: Zwei parallele Ströme ziehen sich an, wenn sie sich in gleicher Richtung bewegen, sie stoßen sich aber ab, wenn ihre Richtung entgegengesetzt ist.

Das Gesagte läßt sich mit Hülfe des Ampère'schen Gestelles in folgender Art nachweisen: Man hänge in die Quecksilbernäpfchen *x* und *y* einen rechtwinkligen Stromleiter, wie Fig. 463 zeigt, und stelle daneben das einen rechtwinklig

Fig. 463. Fig. 464.



gebogenen Leitungsdraht tragende Brettchen Fig. 464 so auf, daß das verticale Drahtstück *ab* sich in der Nähe eines der verticalen Stromarme des beweglichen Leiters befindet. Man beobachtet nun eine Abstoßung oder eine Anziehung zwischen den benachbarten verticalen Stromarmen, je nachdem in ihnen der Strom entgegengesetzt oder gleich gerichtet ist.

Dieser Versuch gelingt noch weit besser, wenn man statt des in Fig. 463 dargestellten beweglichen Leiters den astatischen Leiter Fig. 461 anwendet.

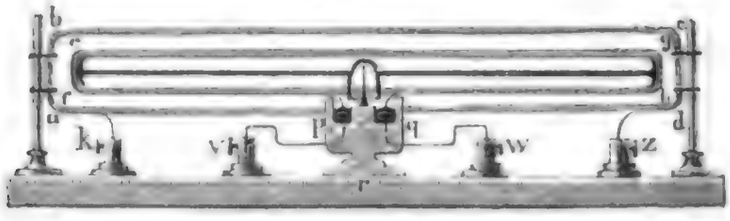
Wir nennen gekreuzte Ströme diejenigen, die nicht parallel sind, mögen sie nun in einer Ebene liegen, oder nicht. Im ersten Falle ist der Kreuzungspunkt derjenige, in welchem ihre Richtungen sich schneiden, im zweiten Falle ist es ein beliebiger Punkt derjenigen Geraden, welche die einander zunächst liegenden Punkte der beiden Ströme verbindet. Zwei gekreuzte Ströme streben sich immer so parallel zu stellen, daß sie sich nach derselben Richtung zu bewegen, oder mit anderen Worten: es findet Anziehung zwischen den Theilen des Stromes Statt, welche nach dem Kreuzungspunkte hingehen, und dann wieder zwischen denen, welche vom Kreuzungspunkte abgehen. Abstoßung aber findet Statt zwischen einem Stromstück, welches sich nach dem Kreuzungspunkte hinbewegt, und einem anderen, welches von ihm weggeht.

Sind z. B. ab und cd, Fig. 465, zwei Ströme, deren Kreuzungspunkt r ist, so findet eine Anziehung zwischen den Theilen ar und cr Statt, in welchen der Strom nach dem Kreuzungspunkte hingeht, und zwischen den Theilen rb und rd, in welchen er vom Kreuzungspunkte abgeht. Abstoßung findet zwischen ar und rd, ferner zwischen cr und rb Statt.

Fig. 465.

Es läßt sich dies sehr gut mit Hülfe des Garthe'schen Apparates, Fig. 466, nachweisen, welcher im Wesentlichen aus zwei Rahmen von umspon-

Fig. 466.



nenem Kupferdrahte besteht, von denen der äußere fest, der innere hingegen auf einer Spitze drehbar ist, wie eine Magnetnadel. Die Enden des beweglichen Drahtrahmens tauchen in eine kreisförmige Quecksilberrinne, welche durch eine elfenbeinerne Scheidewand (rechtwinklig zur Ebene des Papiers) in zwei halbkreisförmige Theile geschieden ist; die eine Hälfte ist mit dem positiven, die andere mit dem negativen Pole eines constanten Bechers verbunden, während der Strom eines anderen Bechers den äußeren Rahmen durchläuft.

230 **Ampère's Theorie des Magnetismus.** Das Princip dieser Theorie besteht darin, jedes Molekül eines Magnets als von einem Strome gleichsam eingehüllt zu betrachten, welcher, das Molekül beständig umkreisend, in sich selbst zurückkehrt, und den man der Einfachheit wegen als kreisförmig annehmen kann. Man stellt sich nach dieser Theorie jeden auf der Axe des Magnets rechtwinkligen Querschnitt ungefähr auf die durch Fig. 467 anschaulich gemachte Weise vor. Statt aller der elementaren Ströme eines jeden Querschnitts aber kann man sich denselben von einem einzigen Strome umkreist denken, welcher

Fig. 467.

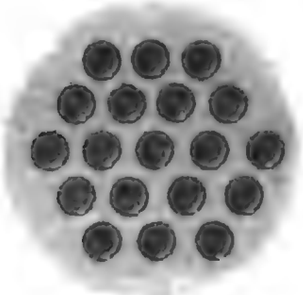
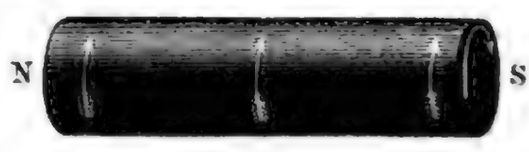


Fig. 468.



gleichsam die Resultirende aller elementaren Ströme dieses Querschnittes ist, und somit läßt sich ein Magnetstab als ein System unter sich paralleler geschlossener Ströme denken, ungefähr so, wie es Fig. 468 anschaulich macht.

Was hier von einem Magnetstabe gesagt ist, läßt sich auch auf eine Magnetnadel, kurz, auf jeden Magneten, welche Form er auch haben mag, anwenden.

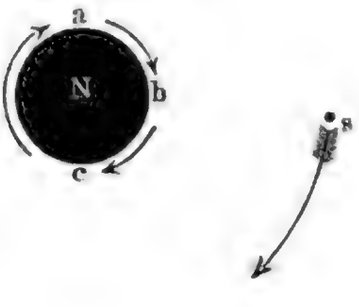
Um die Erklärung der Anziehung und Abstoßung der Pole in verschiedenen Stellungen der Magnete gegen einander recht anschaulich zu machen, zeichne man, am besten auf Cylinder von Holz oder Pappe, die ungefähr 1 bis 1,5 Fuß lang sind und 1 bis 2 Zoll im Durchmesser haben, Pfeile in der Weise, wie man Fig. 468 sieht, welche die Richtung der Ströme darstellen; ferner bezeichne man noch auf beiden Cylindern die Nordpole mit *N*, die Südpole mit *S*. Mit Hülfe zweier solcher Modelle läßt sich von den Sätzen des §. 229 ausgehend leicht begreiflich machen, warum gleichnamige Pole sich immer abstoßen, ungleichnamige sich immer anziehen, in welcher Weise man sie auch übrigens einander nähern mag.

Aus dieser Anschauungsweise ergiebt sich nun auch, warum Magnete auf einander wirken wie durchströmte Schraubendrähte, warum ein in der Mitte durchbrochener Magnet wieder zwei vollständige Magnete liefert, von welchen jeder einen Nordpol und einen Südpol hat.

Nach dieser Theorie muß man also annehmen, daß die Eisenmoleküle beständig von den erwähnten Elementarströmen umkreist werden, die auf ihrem Wege um das Eisenmolekül keinen Leitungswiderstand zu überwinden haben; denn sonst könnten sie ohne fortwirkende elektromotorische Kraft nicht continuirlich sein. In nicht magnetischem weichem Eisen oder Stahl haben sie alle möglichen verschiedenen Lagen. Die Magnetisirung des weichen Eisens besteht nach dieser Theorie darin, daß die schon vorhandenen Elementarströme parallel gerichtet werden; die Gränze der Magnetisirung ist erreicht, wenn die Ströme aller Eisenmoleküle die gleiche Lage haben. Hört die magnetisirende Kraft zu wirken auf, so kehren die Ströme wieder in ihre vorherige regellose gegenseitige Lage zurück; nur im Stahl behalten sie wenigstens theilweise ihren Parallelismus bei, und darauf beruht das Bleiben des Magnetismus des Stahls.

Rotation beweglicher Ströme und Magnete. 231 Es sei *a b c d*, Fig. 469, der horizontale Durchschnitt eines vertical stehenden Magnets und *s* ein zum Punkte verkürzt erscheinender verticaler, von der Ebene des Magnetdurchschnittes *N* aufsteigender Strom, welcher um die Axe des Magnets drehbar ist, so ist nach den in §. 229 auseinandergesetzten Principien klar, daß das Stück *a b* des Magnetstromes den Strom *s* abstoßen, *b c* aber ihn anziehen wird; der Strom *s* muß also in der Richtung des Stromes im Magneten rotiren. Wäre der Strom *s* niedergehend, so würde die Richtung der Rotation die entgegengesetzte werden; ebenso wird natürlich die Umkehrung der Rotationsrichtung durch eine Umkehrung der magnetischen Pole bewirkt.

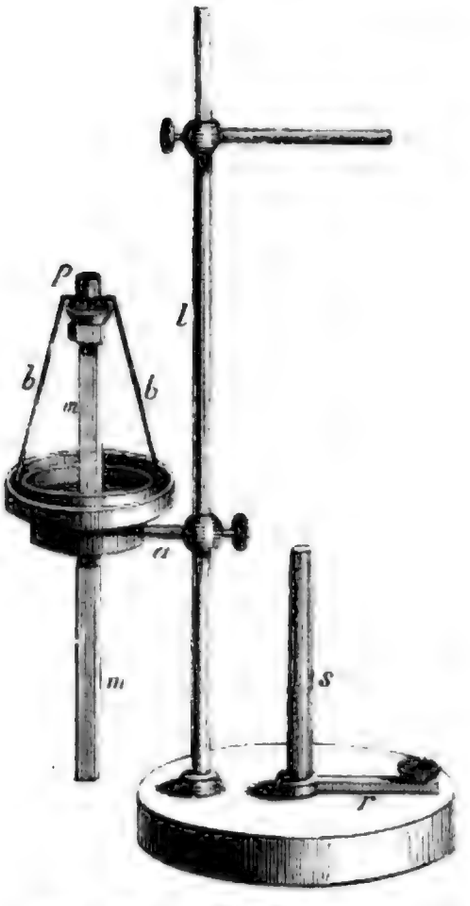
Fig. 469.



Eine solche Rotation kann mit Hülfe des Apparates Fig. 470 (a. f. S.), hervorgebracht

werden. An einem verticalen Stabe *l* ist ein horizontaler Stab *a* verschiebbar, so daß man ihn in jeder beliebigen Höhe und in jeder Richtung mit Hülfe einer Schraube feststellen kann. Dieser horizontale Stab trägt einen Messingring, auf welchen eine kreisförmige hölzerne, mit Quecksilber zu füllende Rinne aufgesetzt wird. In dem Messingringe steckt eine Korkscheibe, durch deren Mitte ein verticaler Magnetstab *m* hindurchgeht, an welchem oben eine Hülse mit einem Quecksilbernäpfchen angeschraubt ist. In diesem Näpfchen sitzt eine feine Spitze auf, welche einen kupfernen Bügel *b* trägt, der auf beiden Seiten heruntergebogen ist, so daß seine unteren, mit einer Platinspitze versehenen Enden in die Quecksilberrinne eintauchen. In der Mitte dieses Kupferbügels befindet sich ein Quecksilbernäpfchen *p*. Wird nun der eine Poldraht der Kette in dieses Quecksilbernäpfchen *p*, der andere aber in die Quecksilberrinne getaucht, so durchläuft der Strom die beiden Arme des Kupferbügels, welcher alsdann zu rotiren beginnt.

Fig. 470.



Die Wirkung des Magnets auf den Strom in dem einen Arme des Kupferbügels wird durch die Wirkung unterstützt, welche der Magnet auf den Strom im anderen Arme des Kupferbügels hervorbringt.

Auf ähnliche Weise läßt sich auch eine Rotation eines beweglichen Magnets um einen festen Strom hervorbringen; man hat die Apparate, welche zur Hervorbringung solcher Rotationen dienen, auf die mannigfachste Weise abgeändert.

Viertes Capitel.

Inductionserscheinungen.

Induction im Nebendrahte. Ein elektrischer Strom kann im 232
Momente seines Beginnens oder Aufhörens oder auch durch seine Annäherung oder Entfernung in einem andern benachbarten Leiter gleichfalls elektrische Ströme erzeugen.

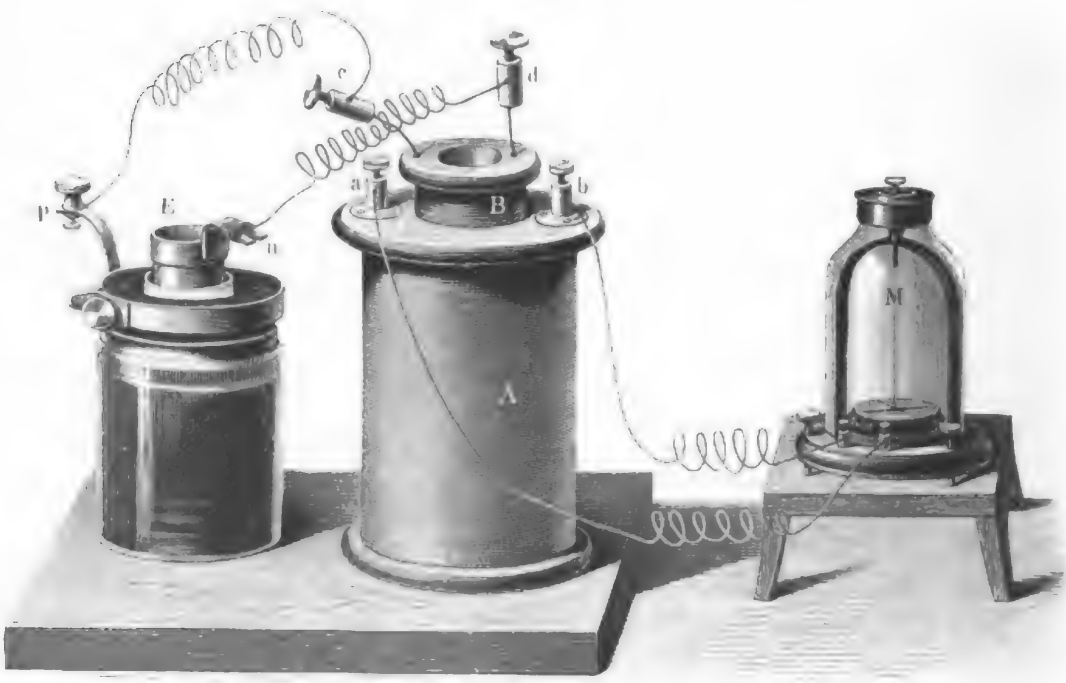
Diese Erscheinungen wurden im Jahre 1838 von Faraday entdeckt und verdienen die größte Aufmerksamkeit, theils wegen ihrer theoretischen Wichtigkeit, theils wegen der zahlreichen Thatsachen, welche sich aus diesem Principe ergeben. Diese Ströme, welche in den Leitern durch eine Art vertheilender Wirkung anderer Ströme hervorgebracht werden, führen den Namen der Inductionsströme. Man könnte sie auch temporäre Ströme nennen, weil sie nur einen Augenblick dauern.

Auf eine im Lichten ungefähr 1 Zoll weite Spule A, Fig. 471 (a. f. S.), sei in vielen Windungen ein dünner mit Seide übersponnener Kupferdraht aufgewickelt, dessen Enden der Bequemlichkeit wegen mit den Klemmschrauben a und b versehen sind. In die Höhlung dieser Spirale paßt eine zweite, ganz ähnlich construirte Spirale B, welche aber gewöhnlich aus weniger Windungen eines dickeren Drahtes besteht. Auch die Drahtenden dieser Spirale sind mit Klemmschrauben c und d versehen.

Wenn nun die Spirale B in die Spirale A eingesteckt ist, so setze man die Klemmschrauben a und b der Spirale A mit den Drahtenden eines Multiplicators M in Verbindung, während man von der Klemmschraube c einen Leitungsdraht nach dem einen, von d einen solchen nach dem anderen Pole einer Volta'schen Säule (etwa einer Wollaston'schen Säule von vier Plattenpaaren, oder einer Daniell'schen von zwei Bechern oder auch nur eines einfachen Bunsen'schen Bechers) führt. Man kann nun den Schließungsbogen der Säule, in welchen die innere Spirale B eingeschaltet ist, nach Belieben schließen und wieder öffnen, und bemerkt, daß bei jeder Schließung und bei jeder Oeff-

nung des Stromes, welcher die innere Spirale durchläuft, ein in der äußeren Spirale A circulirender Strom durch den Multiplicator angezeigt wird.

Fig. 471.



Wir wollen die innere Spirale B, welche in den Schließungsbogen der Säule eingeſchaltet wird, die Hauptſpirale, die andere aber, deren Drahtenden durch den Multiplicator verbunden ſind, die Nebenſpirale nennen.

In dem Momente, in welchem der Schließungsbogen des Volta'ſchen Elektromotors geſchloſſen wird, bemerkt man eine Ablenkung der Nadel des Multiplicators, aus deren Richtung hervorgeht, daß der in der Nebenſpirale auf die angegebene Weiſe hervorgerufene Strom die entgegengeſetzte Richtung desjenigen hat, welcher bei der Schließung der Kette in der Hauptſpirale entſteht.

Läßt man den Hauptſtrom geſchloſſen, ſo kehrt die Nadel des Multiplicators nach einigen Schwingungen wieder auf den Nullpunkt zurück, woraus hervorgeht, daß die Strombildung im Nebendrahte nur eine momentane war, welche in dem Momente erzeugt wurde, in welchem der Strom in der Hauptſpirale zu circuliren begann.

Die Nadel des Multiplicators bleibt nun ruhig, ſo lange der Hauptſtrom die Hauptſpirale durchläuft; in dem Momente aber, in welchem derſelbe unterbrochen wird, findet eine abermalige Ablenkung der Multiplicatornadel Statt, deren Richtung der zuerſt beobachteten entgegengeſetzt iſt, welche alſo anzeigt, daß der jetzt im Nebendrahte hervorgerufene Strom mit dem verſchwindenden Strome des Hauptdrahtes gleich gerichtet iſt.

Digitized by Google

Nach Faraday's Ausdruck wird nun sowohl beim Entstehen als auch beim Verschwinden des von der Säule herrührenden Stromes im Hauptdrahte ein vorübergehender Strom im Nebendrahte *inducirt*.

Der im Nebendrahte inducirte Strom ist mit dem Hauptstrome gleich gerichtet im Momente, in welchem dieser Hauptstrom aufhört. Im Momente der Entstehung des Hauptstromes hat der im Nebendrahte inducirte Strom die entgegengesetzte Richtung.

Es ist nicht gerade nöthig, daß Haupt- und Nebendraht gerade so angeordnet sind, wie es oben beschrieben wurde; der inducirende Hauptdraht kann auch die äußere, der inducirte Nebendraht die innere Spirale bilden, oder es können auch die beiden wohl übersponnenen Drähte neben einander auf derselben Spirale aufgewunden sein.

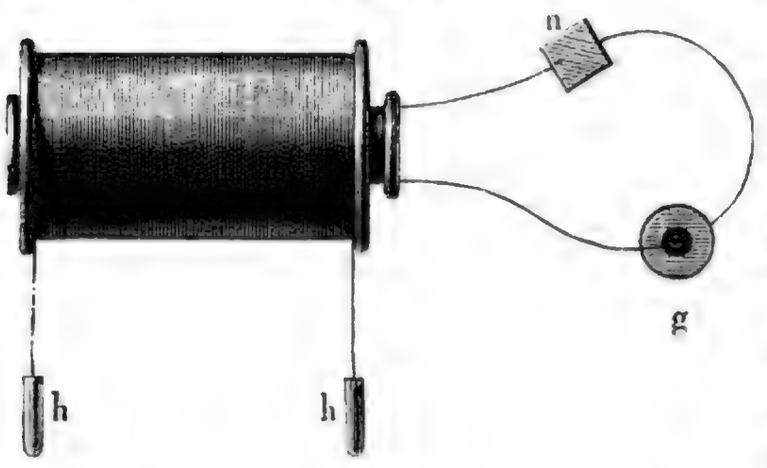
Wenn man die *durchströmte* Hauptspirale in die Höhlung der Nebenspirale *einschiebt*, so wird ein Strom in derselben Weise inducirt, wie wenn der Strom in der Hauptspirale entstände. Das Herausziehen der Hauptspirale wirkt auf den Nebendraht wie das Aufhören des Hauptstromes.

Die inducirten Ströme bringen alle Wirkungen der gewöhnlichen Ströme hervor, namentlich aber kräftige physiologische Wirkungen.

Eine solche Inductionsspirale bietet also ein treffliches Mittel, um physiologische Effecte hervorzubringen, namentlich wenn man dafür sorgt, daß die Kette in rascher Aufeinanderfolge bald geschlossen und dann wieder geöffnet wird.

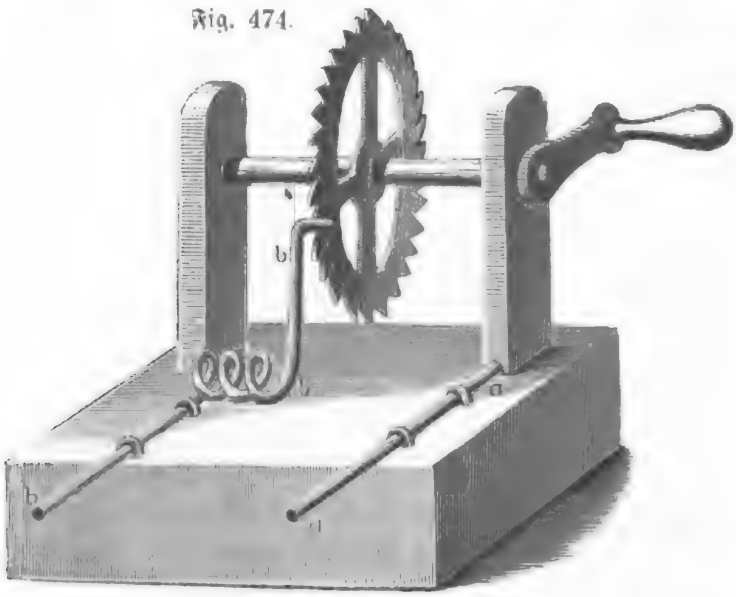
Am einfachsten läßt sich dieser Zweck auf folgende Weise erreichen. Die Drahtenden der Nebenspirale sind, wie Fig. 473 andeutet, mit metallenen Handgriffen *h* versehen. Mit der Hauptspirale, welche in die Nebenspirale eingesteckt ist, befindet sich aber noch ein *Unterbrechungsrad* bei *n* im Schließungsbogen des galvanischen Bechers *g*. Die Einrichtung des Unterbrechungsrades ist aus Fig. 474 (a. f. S.) zu ersehen. Auf einem Holzklotze stehen zwei Messingpfeiler, welche die metallene Axe eines messingenen Zahnrades tragen, dessen Zähne am besten so geschnitten sind, wie die Zähne des Steigrades einer gewöhnlichen Pendeluhr. An dem einen Messingpfeiler ist der Kupferdraht *a* befestigt, während ein zweiter Kupferdraht *b* federnd gegen das Rad drückt. Man kann nun leicht diesen Apparat in den Schließungsbogen der Kette einschalten, man braucht nur *b* mit dem einen Ende des Hauptdrahtes, *a* mit dem einen Poldrahte des Elektromotors zu verbinden. So oft nun bei Umdrehung des Rades der federnde Draht *b* von einem Zahne des Rades zum anderen überspringt, erfolgt eine Unterbrechung und ein alsbaldiges Wiederschließen des Stromes.

Fig. 473.



Faßt nun eine Perſon die Handgriffe *h* mit angefeuchteten Händen, ſo em-

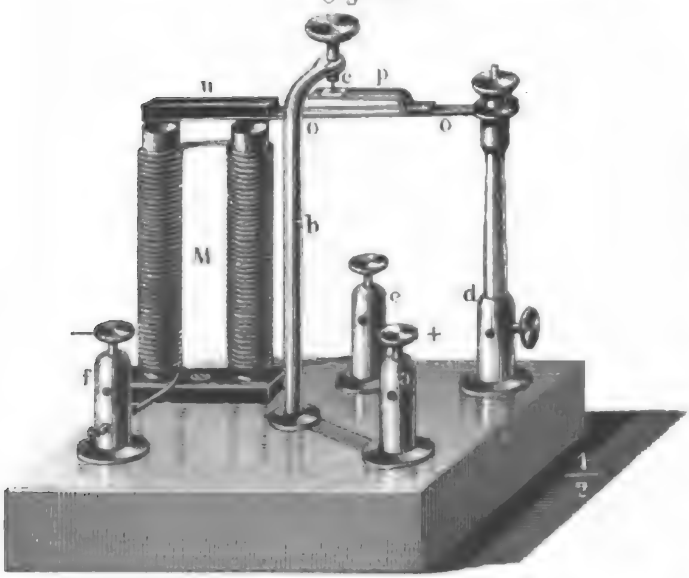
Fig. 474.



pfindet ſie eine Reihe raſch auf einander folgender elektriſcher Schläge, wenn das Unterbrechungsrad gedreht wird.

Eine andere Unterbrechungsvorrichtung iſt der Fig. 475 dargeſtellte magnetiſche Ham-

Fig. 475.



mer. Der durch die Hauptſpirale des Inductionsapparates laufende Strom geht auch durch die Windungen des kleinen Elektromagnets *M*. Sobald die Eiſenkerne deſſelben magnetiſch werden, ziehen ſie den auf der kupfernen Feder *o* befeſtigten eiſernen Anker *n* an, wodurch eine Unterbrechung des Stromes bei *c* erfolgt, indem mit dem Anker *n* auch die Feder *o* niedergezogen wird. — Durch die Unterbrechung des Stromes verlieren die Eiſenkerne des Elektromagnets *M* ihren Magnetismus, die Feder *o* ſchnellt wieder in die Höhe, wodurch der Strom wieder hergeſtellt wird und daſſelbe Spiel von Neuem beginnt.

Die phyſiologiſchen Effecte der Inductionsſpirale laſſen ſich dadurch bedeutend ſteigern, daß man in die Höhlung der Hauptſpirale einen maſſiven Eiſen-

ſtab, noch mehr aber dadurch, daß man in derſelben ein Bündel dünner Eiſendrähte einlegt.

Die Stärke der Schläge iſt durchaus nicht von der Stromſtärke abhängig, wie man dies am leichteſten mit Hülfe eines gewöhnlichen Inductionsapparates mit zwei Spiralen, wie Fig. 473, zeigen kann. Wenn man ſtatt des Unterbrechungsrades bei *n* ein Queckſilbernäpfchen in den Schließungsbogen der Hauptſpirale, in den Schließungsbogen der Nebenſpirale einen Multiplicator einſchaltet, ſo erhält man einen Ausſchlag der Multiplicatornadel, ſo oft bei *n* der Hauptſtrom geſchloſſen oder unterbrochen wird. Als bei einem derartigen Verſuche ein Bündel dünner Eiſendrähte in die Höhlung der Hauptſpirale eingeſchoben war, betrug die Ablenkung 45°; wurde das Bündel mit einem maſſiven Eiſencylinder vertauſcht, ſo betrug ſie 63°. Obgleich aber hier die Stromſtärke für den maſſiven Eiſencylinder bedeutend größer war, ſo erhielt man doch für das Drahtbündel ungleich ſtärkere Schläge.

Im Allgemeinen iſt die Stromſtärke der Inductionsſtröme eine ſehr geringe, wie ſchon daraus hervorgeht, daß man ja den Multiplicator anwenden muß, um eine Ablenkung der Nadel zu erhalten. Daß deſſenungeachtet die Inductionsſtröme ſo ſtarke Schläge geben, kann jedoch nicht auffallen, wenn man bedenkt, daß der Entladungsſchlag der Leydener Flaſche, welcher die Nerven ſo heftig erſchüttert, durch einen Multiplicator geleitet, doch nur eine ſehr ſchwache Wirkung auf die Nadel ausübt. (Man muß, um dieſelbe hervorzubringen, den Entladungsſchlag durch Einſchaltung einer feuchten Schnur verzögern.) Somit iſt klar, daß die Stärke der phyſiologiſchen Wirkung überhaupt nicht von der Quantität der Elektricität abhängt, welche durch den Körper hindurchgeht, ſondern von der Schnelligkeit, mit welcher die Entladung einer gewiſſen Elektricitätsmenge vor ſich geht.

Daraus kann man nun ſchließen, daß die Zeitdauer der Inductionsſtröme eine ſehr kurze iſt, daß eine, wenn auch geringe Elektricitätsmenge doch ſehr ſchnell durch den Körper hindurch entladen wird. Wenn bei gleicher Stromſtärke ein Bündel von Eiſendrähten ſtärkere Schläge giebt als ein maſſiver Eiſenſtab, ſo muß man ſchließen, daß im erſteren Falle dieſelbe Elektricitätsmenge raſcher durch den Körper entladen wird als im zweiten.

Nach den kräftigen phyſiologiſchen Wirkungen, welche mit Hülfe von Eiſendraht-Bündeln durch Inductionsapparate hervorgebracht werden, ließ ſich erwarten, daß ein ſolcher Inductionsſtrom hinlängliche Intenſität beſitzen werde, um zwiſchen den genäherten Drahtenden der nicht geſchloſſenen Inductionsſpirale in Form von Funken überzuſpringen.

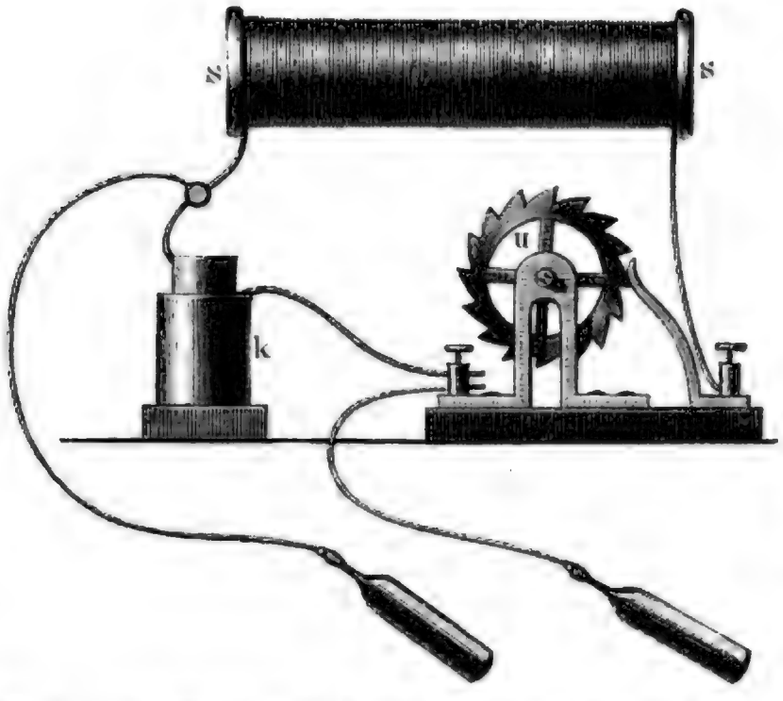
Sinſteden iſt es zuerſt gelungen, durch Vermehrung der Drahtwindungen der Inductionsſpirale und durch möglichſt vollſtändige Iſolirung derſelben ſolche Funken mit Inductionsapparaten hervorzubringen. Später hat beſonders Ruhmkorff die Inductionsapparate nach dieſer Richtung hin vervollkommnet. Die größten Ruhmkorff'ſchen Apparate liefern Funken von 40 bis 50 Centimetern Länge, welche die der kräftigſten Elektriſirmaſchine weit übertreffen.

Mit Erfolg hat man die Ruhmkorff'schen Apparate zum Entzünden von Minen in Anwendung gebracht.

233 **Einwirkung der Windungen auf einander.** Wenn man eine einfache Kette durch einen kurzen Draht schließt, so erhält man nur einen schwachen Funken, wenn man die Kette wieder öffnet; einen Schlag erhält man dabei nicht; wendet man aber statt des kurzen einen sehr langen, spiralförmig aufgewundenen Draht an, so sieht man beim Oeffnen der Kette einen ungleich stärkeren Funken überspringen, und wenn man das eine Drahtende in der einen, das andere in der anderen Hand hält, so fühlt man im Momente des Oeffnens einen Schlag.

Um solche Unterbrechungsschläge einer einzigen Spirale in rascher Aufeinanderfolge durch den Körper zu senden, kann man die in Fig. 476 angedeutete Anordnung anwenden.

Fig. 476.



S ist die Spirale, k der galvanische Becher, u ist das Unterbrechungsrad. Die Handhaben sind angebracht, wie die Figur zeigt, so daß während der Unterbrechung des Hauptstromes der die Handhaben fassende Körper den Schließungsbogen der Spirale bildet. Diese Erscheinung erklärt sich folgendermaßen:

Wenn die Nebenspirale fehlt, so wirkt jede Windung der Hauptspirale inducirend auf die benachbarten; beim Schließen der Kette wird also in der stromleitenden Spirale selbst ein Strom inducirt, welcher dem entstehenden Hauptstrome entgegengesetzt ist und deshalb nicht zur Wirkung kommt. Beim Oeffnen der Kette wird dagegen ein mit dem Hauptstrome gleichgerichteter Strom inducirt, welchen Faraday mit dem Namen Extrastrom bezeichnet hat.

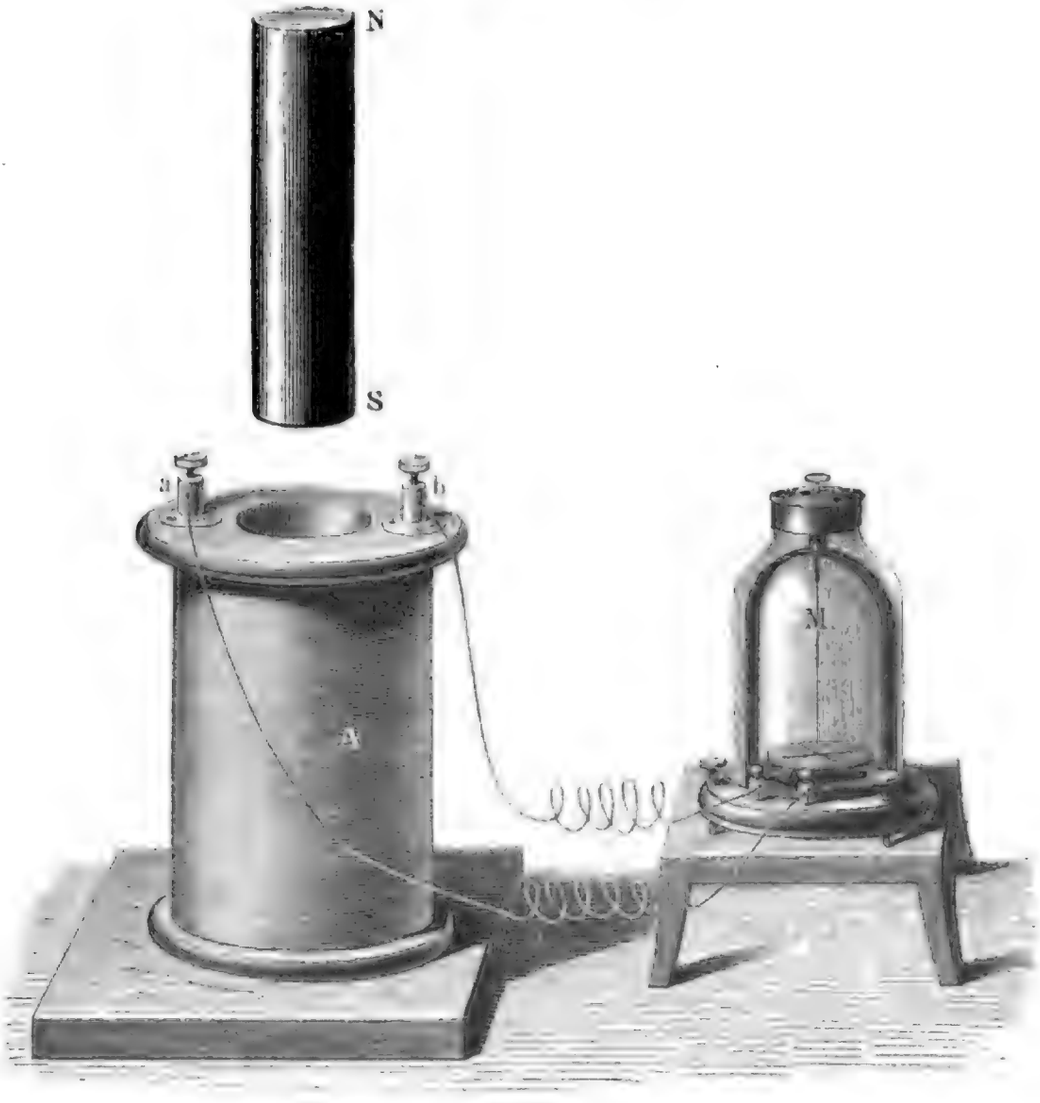
Auch die Schläge des Extrastromes werden wie die des gewöhnlichen Inductionsstromes dadurch bedeutend verstärkt, daß man Eisenstäbe oder noch besser Bündel von Eisendraht in die Höhlung der Spirale einlegt.

Man hat die Extraströme ebenso wie die in §. 232 besprochenen und in §. 234 noch zu besprechenden Inductionsströme vielfach zu medicinischen Zwecken und zu physiologischen Untersuchungen in Anwendung gebracht.

234 **Induction elektrischer Ströme durch Magnete.** Wenn man in die Höhlung einer Drahtspirale, deren Enden mit den Drahtenden eines

Multiplicators verbunden ſind, einen Magnetſtab NS, Fig. 477, einſchiebt, ſo wird die Nadel abgelenkt, um nach einigen Schwingungen wieder auf den

Fig. 477.



Nullpunkt zurückzukehren, wenn man den Magneten ruhig in der Spirale läßt; ſobald man ihn aber zurückzieht, erfolgt ein Ausſchlag nach der entgegengeſetzten Seite.

Es verſteht ſich von ſelbſt, daß der Multiplicator hinlänglich weit entfernt iſt, um nicht direct durch die Bewegung des Magnetſtabes afficirt zu werden. Die Richtung des Stromes, welche das Galvanometer bei der Annäherung des Magnets anzeigt, iſt der Richtung der Ströme entgegengeſetzt, welche nach der Ampère'ſchen Theorie den Magneten umkreiſen; der bei der Entfernung des Magnets im Drahte inducirte Strom hat mit jenen Strömen gleiche Richtung.

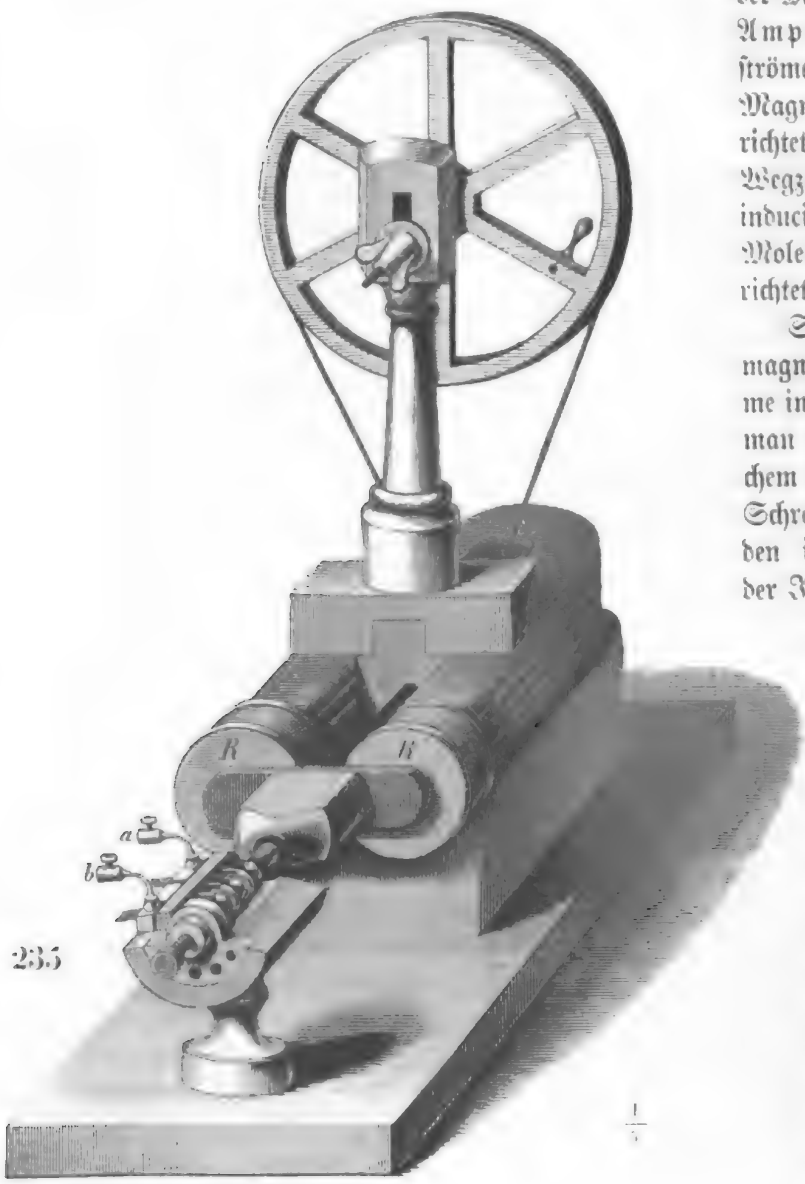
Bei dieſem Verſuche wird eine Wirkung auf die geſchloſſenen Drahtwindungen durch das Einſchieben oder Herausziehen des Magnets hervorgebracht. Die magnetiſche Wirkung kann aber auch noch auf eine andere Weiſe anfangen und aufhören; ſie kann in dem Augenblicke anfangen, in welchem die magnetiſchen Flüſſigkeiten im Eiſen zerſetzt werden, und aufhören, wenn es wieder in

den nichtmagnetiſchen Zuſtand zurückkehrt. Dies läßt ſich auf folgende Weiſe zeigen.

In die Höhlung der Spirale Fig. 477, in deren Schraubklemmen die Enden des Multiplicatordrahtes eingeſchraubt ſind, ſtecke man einen maſſiven Cylinder von weichem Eiſen, dem man von oben her einen Magnetſtab abwechſelnd nähert und dann denſelben wieder entfernt. Beim Annähern des Magnetſtabes wird der Eiſenſtab magnetiſch, beim Zurückziehen deſſelben verſchwindet dieſer Magnetismus wieder.

Beim Annähern des Magnets wird aber in der Spirale ein Strom inducirt, deſſen Richtung, wie der Multiplicator zeigt, den Ampère'ſchen Molekularſtrömen dieſes temporären Magnets entgegengeſetzt gerichtet iſt, während der beim Wegziehen des Magnets inducirte Strom mit dieſen Molekularſtrömen gleich gerichtet iſt.

Fig. 478.



Selbſt durch den Erdmagnetismus können Ströme inducirt werden. Wenn man einen Stab von weichem Eiſen, der mit einem Schraubendrahte umwunden iſt, in die Richtung der Inclinationsnadel hält, dann aber raſch umdreht, ſo daß das obere Ende unten, das untere oben hin kommt, ſo wird in dem Schraubendrahte ein Strom inducirt.

235 **Magneto-elektriſche Rotationsmaſchine.** Um auf bequeme Weiſe mit den durch Magnete inducirten Strömen Verſuche anſtellen zu können,

hat man besondere Maschinen construirt, welche den Namen der magneto-elektrischen Rotationsmaschinen führen. Fig. 478 stellt eine solche dar.

Ein aus mehreren Lamellen zusammengesetzter Hufeisenmagnet liegt wagerecht. In der Mitte zwischen den beiden Schenkeln desselben ist die Rotationsaxe angebracht, um welche sich die Inductionsspiralen drehen. Die Umdrehung dieser Axe wird durch einen Schnurlauf bewirkt, welcher von einer größeren oberhalb befindlichen Drehscheibe über eine kleinere auf der Axe sitzende Rolle geht.

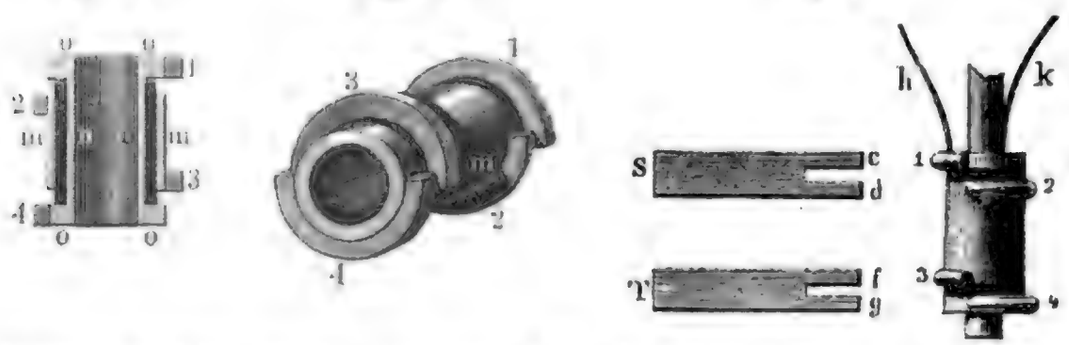
Die beiden Enden dieser eisernen Umdrehungsaxe laufen in Spitzen. Auf der vorderen Hälfte derselben ist eine eiserne Platte befestigt, welche, gegen die Magnetpole gekehrt, zwei Cylinder von weichem Eisen trägt, auf denen die Inductionsspiralen R aufgesteckt sind.

Wenn nun die Axe mit der Eisenplatte, ihren Eisenkernen und Inductionsspiralen in Rotation versetzt wird, so werden die Eisenkerne mit den Spiralen bald dem einen, bald dem anderen Magnetpole genähert und dann wieder von demselben entfernt, und so muß dann ein ähnlicher Inductionseffect entstehen, wie wir ihn im vorigen Paragraphen kennen lernten.

Es kommt nun darauf an, während der Rotation der Spiralen zwischen den freien Drahtenden derselben stets denjenigen Körper eingeschaltet zu erhalten, durch welchen man die Inductionsströme hindurchsenden will; dies wird durch eine Vorrichtung vermittelt, welche man den Commutator nennt und welche an dem vorderen Theile der Rotationsaxe befestigt ist.

Die Figuren 479 bis 481 stellen den Stöhrer'schen Commutator dar. An beiden Enden des Messingrohres m sind zwei halbkreisförmige Stahlkämme 2 und 3 so angelöthet, daß sie sich genau gegenüberliegen und die Enden derselben sich etwas überragen. Innerhalb des Rohres m, von demselben durch

Fig. 479. Fig. 480. Fig. 481.



ein dünnes Buchsbaumrohr getrennt, steckt ein zweites Messingrohr n, welches an beiden Enden etwas vorragt. Die Vorsprünge tragen zwei mit dem Rohre n aus einem Stück gedrehten Ringe o von gleichem Durchmesser mit der Höhlung des Rohres m; auf diese Ringe sind die Stahlkämme 1 und 4 den Stahlkämmen 3 und 2 correspondirend aufgelöthet, wie man dies am deutlichsten in Fig. 481 sieht.

Dieses ganze System ist auf der Umdrehungsaxe befestigt.

Das eine Drahtende k, Fig. 481, der Spiralen führt zum Kamm 2, das andere Drahtende h führt zum Kamm 1.

Zwei flache dünne Stahlfedern sind an dem Gestelle der Maschine so angebracht, daß ihre vorderen geschlitzten Enden die Stahlkämme von oben leicht berühren; sie können nach Belieben mittelst einer Schraube mehr oder weniger gespannt werden.

Der leichteren Uebersicht wegen sind in Fig. 481 die beiden Federn etwas von der Walze abgerückt gezeichnet. Die Feder S theilt sich in die Gabeln c und d; die Feder T theilt sich in die Federn f und g.

Mit der Feder S ist die Klemmschraube a, Fig. 478, mit T ist b in leitender Verbindung. Zwischen a und b werden die Körper eingeschaltet, durch welche man die Inductionsströme hindurchsenden will.

In der Stellung, welche Fig. 481 entspricht, schleift d auf 2, g auf 4, während c und f frei sind. Wenn nun aber 2 von k die positive Elektricität aufnimmt, während 4 mit dem negativen Drahtende h in leitender Verbindung steht, so circulirt der positive Strom in folgender Weise durch den Apparat: Von k geht er durch den Kamm 2 und die Gabel d zur Klemmschraube a, von dieser durch den eingeschalteten Leiter nach b, um über g und den Kamm 4 zum negativen Drahtende h der Spiralen zu gelangen.

Dreht sich nun die Axe für einen vorn stehenden Beschauer wie der Zeiger einer Uhr, so wird alsbald der Kamm 2 die Gabel d und der Kamm 4 die Gabel g verlassen, während c auf 1 und f auf 3 zu liegen kommt; der Commutator ist aber so gestellt, daß dieser Wechsel gleichzeitig mit dem Wechsel der Stromrichtung in den Spiralen stattfindet, so daß also in diesem Momente h das positive und k das negative Drahtende der Spiralen wird; es geht also der positive Strom jetzt von h auf 1, von da durch c nach a u. s. w.; es wird also auch jetzt der positive Strom den zwischen den Klemmschrauben eingeschalteten Körper noch in der Richtung von a nach b durchlaufen.

Durch den Stöhrer'schen Commutator wird also bewirkt, daß der Inductionsstrom durch den zwischen a und b eingeschalteten Körper stets in gleicher Richtung hindurchgeht, obgleich die Stromrichtung in den Spiralen mit jeder halben Umdrehung sich ändert.

Während der Rotation der Spiralen nehmen die in ihnen inducirten Ströme allmälig ab und zu; langsam wachsende Ströme bringen aber keine starke physiologische Wirkung, wohl aber alle anderen Wirkungen des galvanischen Stromes hervor.

Schraubt man in die Klemmschrauben a und b die Drahtenden eines Elektromagnets ein, so wird dieser durch die Inductionsströme erregt; die Nadel einer zwischen a und b eingeschalteten Tangentenbussole zeigt, da die Ströme stets in gleicher Richtung dieselbe durchlaufen, bei einigermaßen schneller Drehung eine constante Ablenkung. In einem zwischen a und b eingeschalteten Voltameter findet Wasserzersetzung Statt, und zwar wird das Sauerstoffgas stets an der einen, das Wasserstoffgas stets an der anderen Platte ausgeschieden. Der Strom einer magneto-elektrischen Rotationsmaschine kann, wenn derselbe kräftig genug ist, einen dünnen Metalldraht glühend machen u. s. w.

Will man mit dem Rotationsapparate physiologische Schläge hervorbrin-

gen, so muß für eine momentane Unterbrechung des Hauptstromes gesorgt sein. Dies geschieht beim Stöhrer'schen Commutator dadurch, daß die Kämme etwas übereinandergreifen, wie dies in Fig. 480 etwas übertrieben gezeichnet ist. Dadurch wird bewirkt, daß bei jeder halben Umdrehung einmal auf ganz kurze Zeit alle vier Kämme des Commutators an den Federn schleifen, so daß für diese Zeit der Strom direct durch die Federn geschlossen ist und kein Strom durch den Schließungsbogen geht, welcher zwischen den Klemmschrauben *a* und *b* eingeschaltet ist. Dieser also im Apparate selbst zurückkehrende Strom ist ziemlich stark, weil er außer dem Leitungswiderstande in den Spiralen keinen Leitungswiderstand im Schließungsbogen zu überwinden hat, und in dem Augenblicke, wo nun zwei Kämme ihre Federn verlassen, wo also dieser directe Strom unterbrochen wird, entsteht in Folge dieser Stromunterbrechung in den Spiralen ein Extrastrom, welcher in dem zwischen *a* und *b* mittelst Handgriffen eingeschalteten menschlichen Körper einen heftigen Schlag hervorbringt. Diesen Schlag erhält also der Körper zweimal bei jeder Umdrehung der Rotationsaxe.

Die Unterbrechung des im Apparate selbst zurückkehrenden Stromes giebt sich auch durch einen kräftigen an der Unterbrechungsstelle auftretenden Funken zu erkennen.

Diamagnetismus. Nachdem Faraday die Erscheinungen der In- 236
ductionsströme entdeckt hatte, gelangte er zu der Ansicht, daß der Hauptdraht auf den Nebendraht eine beständige Wirkung ausüben müsse, daß der Schließungsschlag nur den Uebergang des Drahtes in einen neuen hypothetischen Zustand, der Oeffnungsschlag aber die Rückkehr aus demselben fühlbar mache. Diesen hypothetischen Zustand nannte er den elektrotonischen Zustand; ein solcher Zustand sollte nun nach seiner Ansicht in jedem Körper hervorgerufen werden, der sich in der Nähe einer durchströmten Spirale oder eines Magnets befinde. Nach vielen vergeblichen Versuchen gelang es ihm endlich, eine Reihe hierher gehöriger Erscheinungen aufzufinden.

Fig. 482.

Führt man einen elektrischen Strom in vielfachen Windungen um eine durchsichtige Flüssigkeit herum, so wird derselben durch diesen Strom ein eigenthümliches Verhalten gegen polarisirte Lichtstrahlen mitgetheilt. Fig. 482 stellt einen Apparat dar, mit welchem man die eben erwähnte Erscheinung beobachten kann; *a* und *b* sind zwei Nichol'sche Prismen, Kalkspathprismen, welche nur ein polarisirtes Bild geben, also die beiden Spiegel des Polarisations-Apparates vertreten. *s* ist eine Magnetisirungsspirale, in deren Höhlung eine an

beiden Enden mit Glasplatten geschlossene und mit der zu untersuchenden Flüssigkeit gefüllte Röhre steckt. Man sieht durch die beiden Nichol'schen Prismen und die mit der Flüssigkeit gefüllte Röhre nach der Flamme einer Argand'schen Lampe. Das Ocularnicol *b* wird so gedreht, daß das Gesichtsfeld dunkel ist; läßt man nun einen kräftigen galvanischen Strom durch die Spirale gehen, so erscheint alsbald die Flamme wieder, und man muß das Ocularnicol *b* nach der rechten oder linken Seite drehen, um sie wieder verschwinden zu machen.

Die Polarisationsebene des Strahles wird nach derselben Richtung gedreht, nach welcher der positive Strom in der Spirale circulirt.

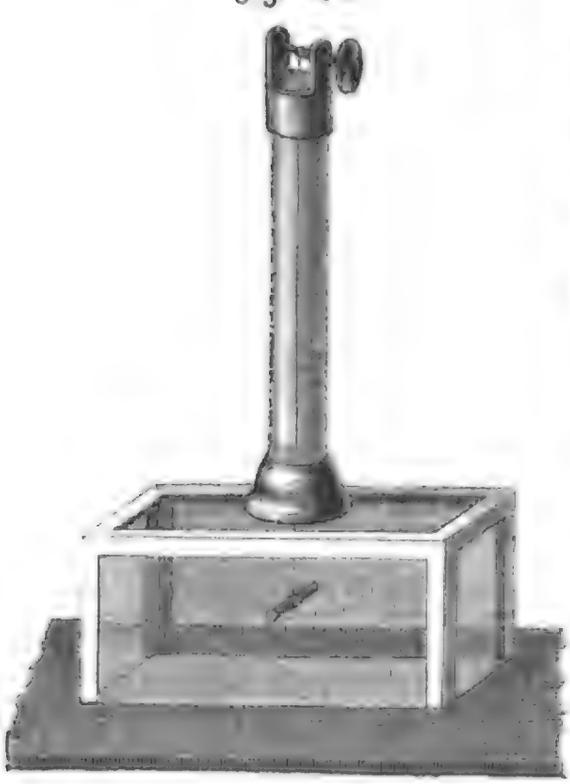
Man muß schon sehr starke Ströme anwenden und die Spirale muß viele Windungen haben, wenn man diese Erscheinung recht deutlich machen will.

Der galvanische Strom, oder ein Elektromagnet, bringt also auch auf nicht magnetische Körper eine continuirliche Wirkung hervor, die zuerst auf optischem Wege nachgewiesen wurde; diese Einwirkung muß aber auch auf undurchsichtige Körper stattfinden, sie muß also auch noch andere als optische Erscheinungen hervorbringen können.

Um diese Wirkung zu zeigen, wird auf jedem Pole des Elektromagnets Fig. 453 ein weiches Eisen von der Form Fig. 483 aufgesetzt, so daß die Spitzen derselben einander zugekehrt sind. Auf das Tischlein *t* setzt man den Glaskasten Fig. 484, welcher in der Mitte eine Glasröhre trägt. In dieser Röhre hängt ein Coconfaden herab, der ein Stäbchen des zu untersuchenden Körpers trägt. Man richtet den Faden so, daß das Stäbchen genau in die Mitte der beiden Pole zu hängen kommt. Sobald nun der Strom durch die Windungen des Elektromagnets geht, wirken die Pole desselben auf das Stäbchen. Ist das Stäbchen von Eisen oder sonst einem magnetischen Körper, so stellt es sich so, daß seine Längenaxe mit der Verbindungslinie der beiden Pole zusammenfällt; solche Stäbchen aber, die aus nicht magnetischen Körpern gebildet sind, stellen sich rechtwinklig zu der Verbindungslinie der beiden Pole.

Fig. 483.

Fig. 484.



Alle Körper, welche das letztere Verhalten zeigen, nennt Faraday diamagnetische Körper. Sehr wenige magnetische Metalle ausgenommen, sind alle anderen Körper diamagnetische. Besonders stark diamagnetisch ist Wismuth.

Die quere Stellung der magnetischen

Körper zwiſchen den Polen des Elektromagneten iſt die Folge einer Abſtoßung, welche die Magnetpole auf ſie äußern. Dieſe Abſtoßung zeigt ſich am beſten auf folgende Weiſe: Man ſtelle die Pole Fig. 483 ganz nahe zuſammen und hänge an den Faden nun ein Wismuthkügelchen, welches man ſo richtet, daß es gerade zwiſchen den beiden Polſpitzen hängt. Sobald man die Kette ſchließt, wird das Kügelchen aus ſeiner Ruhelage getrieben und etwas auf die Seite geſtoßen.

Fünftes Capitel.

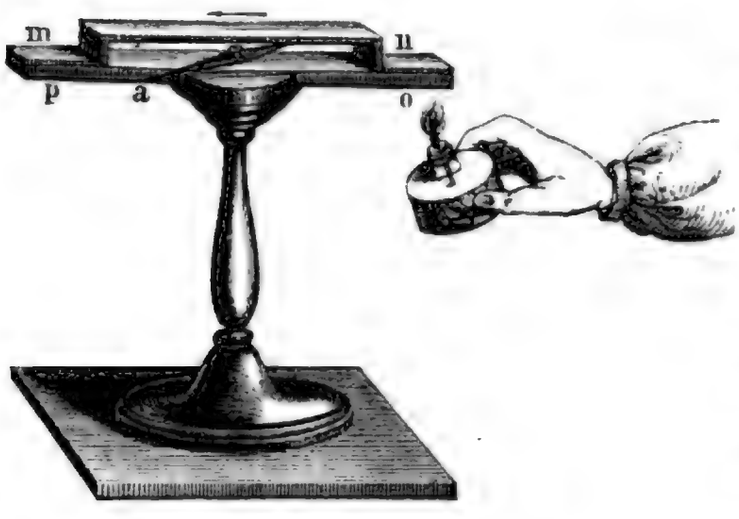
Thermoelektrische Ströme und thierische Elektricität.

---

237 **Thermoelektrische Elemente.** Wenn zwei Metallstäbe so zusammengelöthet sind, daß sie eine geschlossene Kette von beliebiger Form bilden, so entsteht ein mehr oder minder starker Strom, so oft die beiden Löthstellen verschiedene Temperatur haben, und der Strom dauert so lange fort, als der Temperaturunterschied erhalten wird.

Es läßt sich dies für einen speciellen Fall mit dem Apparate Fig. 485 nachweisen. *o p* ist ein Stäbchen von Wismuth, *m n* ein Streifen von Kupfer, welcher an die Enden des Wismuthstäbchens angelöthet ist; *a* ist eine auf einer Spitze frei spielende Magnetnadel. Wenn die beiden Löthstellen noch die Temperatur der umgebenden Luft haben, wird der Apparat so gestellt, daß die Ebene des Streifens *o p* in die Ebene des magnetischen Meridians fällt, daß also die Nadel mit der Axe und den Längenkanten des Wismuthstäbchens parallel steht; sobald nun eine der Löthstellen, etwa *o*, erwärmt wird, erleidet die Nadel eine mehr oder weniger bedeutende Ablenkung: erkaltet man aber dieselbe Löthstelle *o* unter die Temperatur der umgebenden Luft, so beobachtet man eine Ablenkung nach entgegengesetzter Richtung.

Fig. 485.



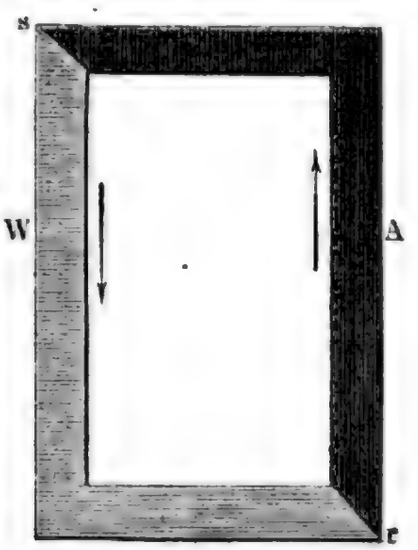
Diese Ablenkungen der Nadel bald nach der einen, bald nach der anderen Richtung zeigen offenbar einen elektrischen Strom an, welcher den Apparat in einer bestimmten Richtung durchkreist, wenn die Löthstelle *o* wärmer ist als *p*; in der entgegengesetzten aber, wenn die Löthstelle *o* kälter ist als die Löthstelle *p*.

Nicht alle Metalle geben so in die Augen fallende Resultate, wie Wismuth und Kupfer.

Es ist nicht gerade nöthig, daß man einen besonderen Apparat der Art hat, um den thermoelektrischen Fundamentalversuch zu machen; man kann dazu jede gehörig leicht bewegliche Compaßnadel, etwa die Fig. 486 abgebildete,

Fig. 486.

Fig. 487.



anwenden. Als thermoelektrisches Element wendet man gewöhnlich ein längliches Rechteck, Fig. 487, an, welches aus Wismuth und Antimon zusammengesetzt ist; in der Figur bezeichnet die hellschattirte Hälfte Wismuth, die andere Antimon. Diese beiden Metalle sind bei *s* und *r* zusammengelöthet. Um den Versuch zu machen, erwärmt man vorsichtig die eine Löthstelle über einer kleinen Weingeistlampe und hält dann die eine der längeren Seiten des Rechtecks gerade über die sich noch in ihrer gewöhnlichen Lage befindende Magnetnadel. Es ist hier noch zu bemerken, daß Fig. 487 in einem kleineren Maßstabe gezeichnet ist als Fig. 486; man muß das Rechteck aus Wismuth und Antimon doch so groß machen, daß jede der längeren Seiten wenigstens die Länge der Magnetnadel hat.

Fig. 488 stellt ein offenes thermoelektrisches Element dar. An die beiden

Fig. 488.

Enden eines Wismuthstabes sind Streifen von Kupferblech angelöthet. Bringt man die Enden *c* und *d* mit den Drahtenden eines Multiplicators in leitende Verbindung, so wird die Nadel desselben abgelenkt, wenn eine der beiden Löthstellen *a* oder *b* erwärmt wird, während die andere kalt bleibt.

Die Untersuchungen, die man über das gegenseitige Verhalten verschiedener Metalle in Beziehung auf die Erregung thermoelektrischer Ströme gemacht hat,

haben gezeigt, daß sich die Metalle in eine Reihe zusammenfassen lassen, welche die Eigenschaft hat, daß, wenn man aus je zwei Metallen dieser Reihe eine Kette bildet und an der einen Berührungsstelle erwärmt, an dieser erwärmten Löthstelle der positive Strom von dem in der Reihe tiefer stehenden Metalle zu dem höher stehenden übergeht:

Antimon	Zinn
Eisen	Silber
Zink	Platin
Gold	Quecksilber
Kupfer	Wismuth.
Blei	

In dem Apparate Fig. 485 geht also, wenn die Löthstelle bei *o* erwärmt ist, der Strom in der Richtung des Pfeils durch den Apparat; an der erwärmten Berührungsstelle *o* ist also das in der Reihe höher stehende Kupfer positiv gegen das tiefer stehende Wismuth. In dem Rechteck Fig. 487 circulirt der positive Strom in der Richtung der Pfeile, wenn die Löthstelle bei *r* wärmer ist.

238 **Thermoelektrische Säulen.** So wie man mehrere Volta'sche Elemente, so kann man auch mehrere thermoelektrische Elemente zu einer thermoelektrischen Säule vereinigen, welche einen Strom geben, wenn man die Löthungsstellen 1, 3, 5 u. s. w. erwärmt, während die dazwischen liegenden kalt bleiben.

Solche thermoelektrischen Säulen können dazu dienen, um in Verbindung mit Multiplicatoren die geringsten Temperaturdifferenzen sichtbar zu machen. Unter allen zu diesem Zwecke construirten Säulen ist unstreitig die von Nobili angegebene die sinnreichste und empfindlichste; sie ist Fig. 489 dargestellt. Sie ist aus 25 bis 30 Stäbchen von Wismuth und Antimon zusammengesetzt, welche ungefähr 4 bis 5 Centimeter lang sind. Sie sind zusammengelöthet, wie man Fig. 490 sieht, nämlich so, daß alle paarigen Löthstellen auf der einen, alle unpaarigen auf der anderen Seite sich befinden. Die Zwischenräume zwischen den einzelnen Stäbchen sind mit einer isolirenden Substanz ausgefüllt und das ganze Bündel ist alsdann mit einer gemeinsamen Fassung umgeben, wie Fig. 489 zeigt. Das eine der beiden Halbelemente endlich, mit denen die Kette endigt, ist mit dem Stifte *x*, das andere mit dem Stifte *y* in Verbindung, und diese Stifte bilden auf diese Weise die beiden Pole der Säule, und mit ihnen werden die Enden des Multiplicatordrahtes in Verbindung gebracht.

Fig. 489.

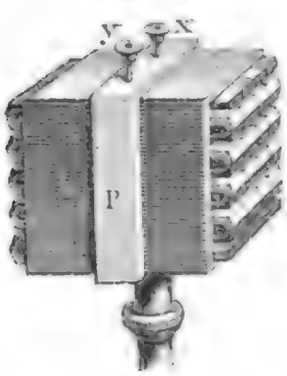
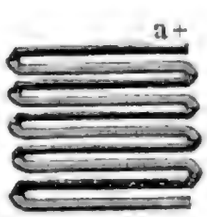


Fig. 490.



Wenn die Löthstellen auf der einen Seite nur die geringste Temperaturerhöhung erfahren, so wird die Multiplicatornadel sogleich aus dem magnetischen Meridian abgelenkt.

Thierische Elektricität. Es ist schon lange bekannt, daß es 239
Fische giebt, welche elektrische Schläge zu geben im Stande sind; unter diesen sind der Zitterrochen und der Zitteraal die ausgezeichnetsten. Der Zitterrochen kommt im mittelländischen Meere und im atlantischen Oceane, der Zitteraal aber in den Landseen Südamerikas vor.

Nimmt man den Zitterrochen aus dem Wasser, so erhält man einen Schlag, wenn man mit der einen Hand den Bauch, mit der anderen den Rücken anfaßt.

Wenn sich das Thier im Wasser befindet, so ist eine unmittelbare Berührung desselben zur Ertheilung eines Schlages nicht nöthig.

Das Ertheilen eines elektrischen Schlages liegt ganz in der Willkür des Thieres.

Der Rücken des Zitterrochens ist positiv, der Bauch negativ elektrisch. Der elektrische Strom, welcher durch einen Leitungsdraht geht, der den Rücken mit dem Bauche verbindet, bringt alle Wirkungen anderer elektrischer Ströme, wenn auch zum Theil in schwachem Maße, hervor.

Das Organ, in welchem sich die Elektricität entwickelt, hat bei den verschiedenen elektrischen Fischen im Wesentlichen dieselbe Textur, dasselbe Ansehen, obgleich seine Gestalt, seine Größe und seine Anordnung verschieden sind. Wir wollen nun versuchen, eine Idee von dem Organe des Zitterrochens zu geben, welches am genauesten untersucht worden ist.

Fig. 491.

Die Fig. 491 stellt einen Zitterrochen von oben gesehen dar, welcher auf der einen Seite geöffnet ist, so daß man das elektrische Organ sieht. Es geht vorn bis dicht an den Vorderrand des Kopfes, seine obere Fläche stößt mittelst einer faserigen Haut an die Haut des Rückens, seine untere an die des Bauches; seine äußere Fläche ruht an dem Knorpel der Seitenflosse, seine innere an der Muskulatur des Kopfes und des vorderen Theiles des Rumpfes. Von oben oder unten gesehen, zeigt das elektrische Organ polygonale oder rundliche Abtheilungen, Fig. 492 (a. f. S.); von der Seite aber sieht man parallele Streifen, wie Fig. 493 (a. f. S.) zeigt. Das ganze Organ besteht aus einer Menge polygonaler oder rundlicher Säulchen,

deren Axe die Richtung vom Bauche zum Rücken hat. Die Randbegränzung jeder Säule bildet eine etwas dichtere, sehnichte Membran, welche, wie es scheint, dieselben Dienste leistet wie die Glasstäbe, zwischen welchen die galvanische Säule aufgebaut wird. Jedes Säulchen besteht aus einer Menge auf einander geschichteter feiner Blättchen; diese kleinen, bald ebenen, bald gebogenen Blättchen sind durch sehr klebrige Schleimschichten von einander getrennt, und somit bieten diese Säulchen in ihrer Construction eine große Aehnlichkeit mit einer aufgebauten Volta'schen Säule dar.

Fig. 492.

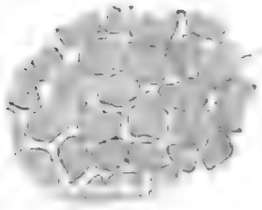
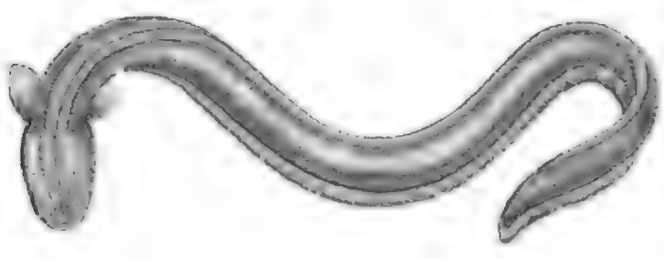


Fig. 493.

Man zählt bei dem Zitterrochen gewöhnlich 400 bis 500 solcher Säulchen auf jeder Seite desselben.

Bei dem Zitteraale, Fig. 494, liegt das elektrische Organ in dem sehr langen Schwanze. Bei diesem Thiere nämlich liegt der After so weit nach vorn, daß der Schwanz des Gymnotus fast $4\frac{1}{2}$mal so lang ist als Kopf und Rumpf zusammengenommen; das elektrische Organ liegt fast der ganzen Länge des Schwanzes nach auf jeder Seite und unterhalb desselben, so daß der elektrische Apparat dieses Thieres eine bedeutende Ausdehnung hat, woher es denn auch kommt, daß der Zitteraal so außerordentlich starke Schläge ertheilen kann.

Fig. 494.



Bei dem Gymnotus stehen die Säulchen, welche das elektrische Organ bilden, nicht senkrecht wie beim Zitterrochen, sondern sie laufen in der Richtung des Schwanzes fort, so daß die Scheibchen, aus denen sie bestehen, senkrecht stehen; daher kommt es denn auch, daß beim Zitteraale der positive Strom in der Richtung vom Kopfe nach dem Schwanze, also nicht wie beim Zitterrochen vom Rücken zum Bauche geht.

Im thierischen Organismus sind jedoch auch elektrische Ströme nachgewiesen worden, welche nicht durch besondere elektrische Organe hervorgebracht werden. Nobili hat gefunden, daß, wenn man mit dem einen Drahtende eines empfindlichen Multiplicators den Kopf, mit dem anderen Drahtende die Füße eines lebenden oder frisch getödteten Frosches berührt, ein Strom vom Kopfe nach den Füßen geht; ebenso läßt sich ein Strom nachweisen, wenn man in den Muskel irgend eines Thieres einschneidet und den äußeren Muskel mit der Schnittfläche durch den Multiplicatordraht verbindet.

Du Bois-Reymond hat die Gesetze des Muskelstromes näher bestimmt und auch ähnliche Stromwirkungen an den Nerven nachgewiesen.

Fünftes Buch.

Von der Wärme.

Digitized by Google

Erſtes Capitel.

Ausdehnung.

Wirkungen der Wärme. Unſer Gefühlsvermögen unterſcheidet 240
verſchiedene Zuſtände an den Körpern, die wir mit heiß, warm, kalt u. ſ. w. bezeichnen. Wenn ein Körper, den wir kalt nennen, warm wird, wenn er heiß wird, ſo nimmt er auch an Volumen zu, er dehnt ſich aus.

Die unbekannte Urſache, welche dieſe Ausdehnung der Körper bewirkt und welche zugleich die verſchiedenen eben erwähnten Empfindungen unſeres Gefühlsvermögens veranlaßt, nennt man Wärme.

Die Wärme bewirkt nicht allein eine Ausdehnung der Körper, ſondern ſie iſt auch im Stande, die Aggregatzuſtände der Körper zu verändern, ſie bewirkt die Schmelzung feſter und die Verdampfung flüſſiger Körper. Wir wollen nun im Folgenden die Geſetze dieſer Erſcheinungen näher betrachten.

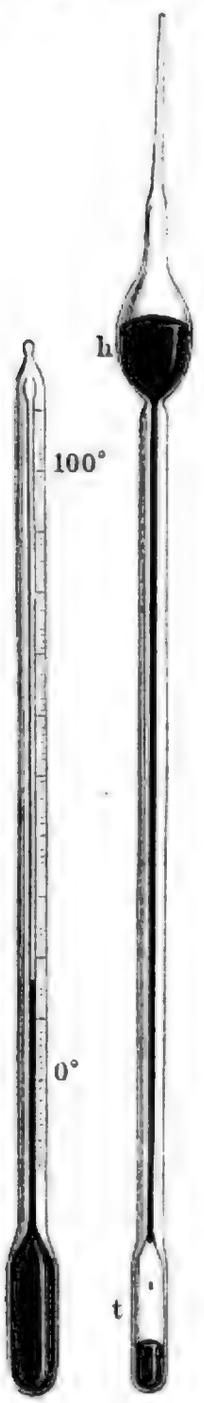
Das Thermometer. Da alle Körper durch die Wärme ausgedehnt 241
werden, und da das Volumen eines Körpers von dem Grade ſeiner Erwärmung abhängt, ſo kann die Ausdehnung eines Körpers dazu dienen, um den Grad ſeiner Erwärmung zu meſſen. Man nennt die Temperatur eines Körpers den Grad ſeiner Erwärmung, die Inſtrumente aber, welche man anwendet, um die Temperatur zu beſtimmen, nennt man Thermometer.

Fig. 495 (a. f. S.) ſtellt ein Queckſilberthermometer dar. An dem unteren Ende einer engen Glasröhre befindet ſich ein kugelförmiges oder cylindriſches Gefäß; dies Gefäß und ein Theil der Röhre ſind mit Queckſilber gefüllt. Durch Erwärmung vermehrt ſich das Volumen des Queckſilbers, es ſteigt in der Röhre, und man ſagt, die Temperatur ſei erhöht worden. Wenn die Kugel erkaltet, vermindert ſich das Volumen des Queckſilbers wieder, das Queckſilber ſinkt in der Röhre, und man ſagt, die Temperatur ſei gefallen.

Bei gleicher Temperatur nimmt der Gipfel der Queckſilberſäule auch ſtets dieſelbe Stelle in der Röhre ein. Wenn man ein anderes größeres oder kleineres Thermometer mit dem erſteren vergleicht, ſo werden beide mit einander ſteigen und fallen, aber die abſolute Größe des Steigens und Fallens kann doch ſehr verſchieden ſein. Wenn z. B. die beiden Gefäße gleich ſind, aber die eine Röhre einen zehnmal größeren Querſchnitt als die andere hat, ſo würde bei gleicher Temperaturerhöhung das Queckſilber in der engen Röhre zehnmal ſo hoch ſteigen als in der anderen.

Um ein Thermometer zu machen, wird an eine enge, ihrer ganzen Länge nach gleich weite Glasröhre ein Gefäß *t*, Fig. 496, angeblasen und oben ein weiteres mit einem offenen Röhrchen endigendes Gefäß *h* angelöthet. Um den ganzen Apparat mit Queckſilber zu füllen, werden zunächſt *h* und *t* über der Weingeiſtlampe erwärmt und dadurch die Luft, welche ſie enthalten, ausgedehnt. Kehrt man nun die ganze Vorrichtung um, die Spitze von *h* in ein Gefäß mit Queckſilber tauchend, ſo wird beim Erkalten von *h* und *t* die in ihnen enthaltene Luft ſich zuſammenziehen und das Gefäß *h* wird ſich zum Theil mit Queckſilber füllen. — Nun wird der Apparat wieder in aufrechte Stellung gebracht und *t* abermals erwärmt, um die in ihm noch enthaltene Luft theilweiſe auszutreiben, welche in Form von Bläschen durch das Queckſilber in *h* entweicht. Beim Erkalten füllt ſich dann ein Theil des Gefäßes *t* mit Queckſilber, welches aus *h* herabſteigt, um den Raum der ausgebliebenen Luft einzunehmen. Bei abermaliger Erwärmung des Gefäßes *t* wird von Neuem ein Theil der eingeſchloſſenen Luft ausgetrieben, die Erwärmung wird aber jetzt ſo weit fortgeſetzt, bis das Queckſilber in *t* ins Kochen kommt, und nun nehmen die mit Heftigkeit entweichenden Dämpfe des Queckſilbers die noch übrige Luft vollſtändig mit fort. Beim Erkalten verdichten ſich die Dämpfe in *t*, und aus *h* ſinkt nun das Queckſilber herab, um *t* vollſtändig auszufüllen.

Fig. 495. Fig. 496.



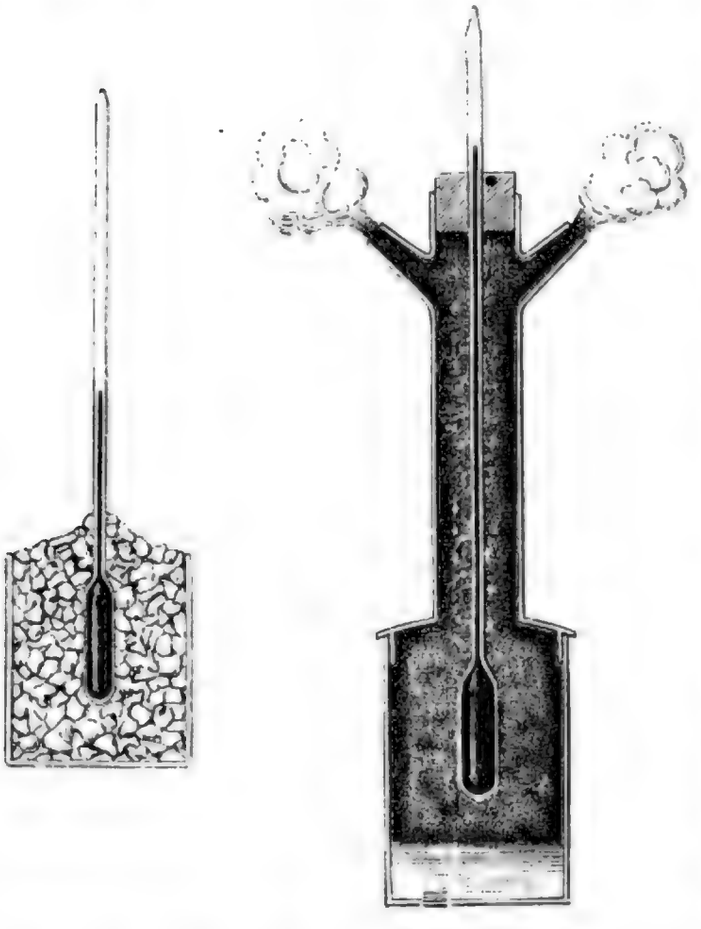
Iſt auf dieſe Weiſe das Gefäß *t* ſammt der Röhre mit Queckſilber gefüllt und der Apparat vollſtändig erkaltet, ſo wird das überflüſſige Queckſilber aus *h* entfernt und dann die Röhre dicht unter dieſem Gefäße vor der Glasbläſerlampe zu einer feinen Spitze ausgezogen.

Alsdann wird die Queckſilbermenge im Thermometer regulirt, d. h. man ſetzt das Gefäß des Thermometers einer Temperatur aus, welche etwas höher iſt als die höchſte Gränze, für welche das Inſtrument gebraucht werden ſoll. Will man z. B. ein Thermometer machen, welches bis zum Siedepunkt des Waſſers geht, ſo ſteckt man es in eine ſiedende geſättigte Löſung von Kochſalz. In Folge der ſteigenden Wärme tritt das Queckſilber tropfenweiſe aus der feinen Spitze der Röhre aus; wenn dieſes Austreten von Queckſilbertröpfchen aufgehört hat, wenn alſo die ganze Queckſilbermaſſe im Gefäß die Temperatur der umgebenden ſiedenden Flüſſigkeit erlangt hat, wird das Rohr durch Zuſchmelzen der feinen Spitze geſchloſſen.

Um das Thermometer zu vollenden, muß es noch graduirt werden, was dadurch geſchieht, daß man zwei fixe Punkte auf der Röhre markirt und

den Zwischenraum (den Fundamentalabstand) in gleiche Theile theilt. Für die festen Punkte nimmt man in der Regel den Gefrierpunkt und den Siedepunkt des Wassers. Um den Gefrierpunkt zu bestimmen, steckt man die Thermometerkugel und die Röhre, soweit das Quecksilber in derselben reicht, in ein Gefäß mit fein zerstoßenem Eise oder Schnee, Fig. 497. Wenn die Temperatur der umgebenden Luft höher ist als der Gefrierpunkt, so schmilzt das Eis, und die ganze Masse nimmt die fixe Temperatur des Gefrierpunktes an. Bald nimmt auch das Thermometer diese Temperatur an und bleibt von dem Augenblicke an vollkommen stationär, und man hat nur mit Genauigkeit den Punkt der Röhre zu markiren, wo gerade der Gipfel der Quecksilbersäule steht. Man bezeichnet diesen Punkt zuerst mit Tusch und alsdann mit einem Diamant.

Fig. 497. Fig. 498.



Um den Siedepunkt zu bestimmen, bringt man das Thermometer in ein Gefäß mit langem Halse, Fig. 498, in welchem man destillirtes Wasser zum Kochen bringt; nachdem es einige Zeit gekocht hat, sind alle Theile des Gefäßes gleichmäßig erwärmt, und der Dampf entweicht durch die Seitenöffnungen; das Thermometer ist alsdann allenthalben von Dampf umgeben, dessen Temperatur dieselbe ist wie die der obersten Wasserschicht. Das Quecksilber steigt bald bis zu einem Punkte, auf dem es fest stehen bleibt und den es nicht überschreitet. Man bezeichnet diesen Punkt wie den Gefrierpunkt.

Der Zwischenraum zwischen dem Gefrierpunkte und dem Siedepunkte heißt der Fundamentalabstand. Beim Réaumur'schen Thermometer wird der Fundamentalabstand in 80 gleiche Theile getheilt.

Der Gefrierpunkt ist der Nullpunkt der Scala, welche in gleicher Weise, wie oberhalb, auch unterhalb des Nullpunktes fortgesetzt wird. Die Grade unter 0 werden durch — bezeichnet.

Man kann Quecksilberthermometer construiren, welche bis zu 270° R. gehen; weiter aber kann man nicht gehen, weil man sonst dem Siedepunkte des

Queckſilbers (320°) zu nahe kommt. Unter Null ſind die Angaben des Queckſilberthermometers richtig bis gegen — 26°. Bei noch geringerer Temperatur kommt man dem Gefrierpunkte des Queckſilbers (— 32°) zu nahe. In der Nähe der Temperaturen nämlich, bei welchen die Körper ihren Aggregatzuſtand ändern, iſt ihre Ausdehnung nicht mehr regelmäßig.

Nicht bei allen Thermometern iſt der Fundamentalabſtand in 80 Grade getheilt. In Deutſchland und Frankreich iſt das Réaumur'ſche Thermometer noch ſehr verbreitet, obgleich man ſich bei wiſſenſchaftlichen Unterſuchungen jetzt faſt ausſchließlich des von Celſius zuerſt angegebenen hunderttheiligen Thermometers bedient, bei welchem der Fundamentalabſtand in 100 gleiche Theile getheilt iſt. Es iſt jedoch leicht, Celſius'ſche Grade auf Réaumur'ſche zu reduciren, und umgekehrt; denn da

$$100^0\ \text{C.} = 80^0\ \text{R.},$$

ſo iſt

$$1^0\ \text{C.} = 0{,}8^0\ \text{R.}$$

und

$$1^0\ \text{R.} = 1{,}25^0\ \text{C.}$$

Es ſind demnach x^0 C. $= x \,.\, 0{,}8^0$ R. und n^0 R. $= n \,.\, 1{,}25^0$ C. Man kann dies in Worten ſo ausdrücken: Um Réaumur'ſche Grade in Celſius'ſche zu verwandeln, multiplicirt man die Zahl der Réaumur'ſchen Grade mit 1,25 oder mit $^5/_4$. Will man umgekehrt Celſius'ſche Grade in Réaumur'ſche verwandeln, ſo multiplicirt man die gegebene Gradzahl mit 0,8 oder, was daſſelbe iſt, mit $^4/_5$.

In England bedient man ſich ausſchließlich der Fahrenheit'ſchen Scala, deren Nullpunkt nicht mit dem der beiden eben erwähnten zuſammenfällt. Der Nullpunkt des Fahrenheit'ſchen Thermometers trifft mit dem Theilſtriche — $17^7/_9$ der Celſius'ſchen Scala zuſammen. Der Schmelzpunkt des Eiſes iſt auf derſelben mit 32, der Siedepunkt des Waſſers mit 212 bezeichnet, ſo daß alſo der Zwiſchenraum zwiſchen dem Gefrierpunkte und dem Siedepunkte des Waſſers hier in 180 Grade getheilt iſt. Es ſind alſo dem abſoluten Werthe nach

$$180^0\ \text{F.} = 100^0\ \text{C.},$$

mithin

$$1^0\ \text{F.} = {}^5/_9{}^0\ \text{C.}$$

und

$$1^0\ \text{C.} = {}^9/_5{}^0\ \text{F.}$$

Um jedoch die Angaben des einen dieſer Thermometer auf die des anderen zu reduciren, hat man noch zu berückſichtigen, daß die Nullpunkte derſelben nicht zuſammenfallen. Will man Fahrenheit'ſche Grade in Celſius'ſche verwandeln, ſo hat man von der gegebenen Gradzahl 32 abzuziehen und den Reſt mit $^5/_9$ zu multipliciren. Es ſind demnach

$$x^0\ \text{F.} = (x - 32)\ {}^5/_9{}^0\ \text{C.}$$

Will man Celsius'sche Grade in Fahrenheit'sche verwandeln, so multiplicirt man mit $^9/_5$ und addirt zum Product 32. Es sind demnach

$$y^0\ \text{C.} = (y\ .\ ^9/_5 + 32)^0\ \text{F.}$$

Zur leichteren Vergleichung der verschiedenen Scalen mag folgende Tabelle dienen.

Celsius.	Réaumur.	Fahrenheit.
− 20	− 16	− 4
− 10	− 8	+ 14
0	0	32
+ 10	+ 8	50
20	16	68
30	24	86
40	32	104
50	40	122
60	48	140
70	56	158
80	64	176
90	72	194
100	80	212

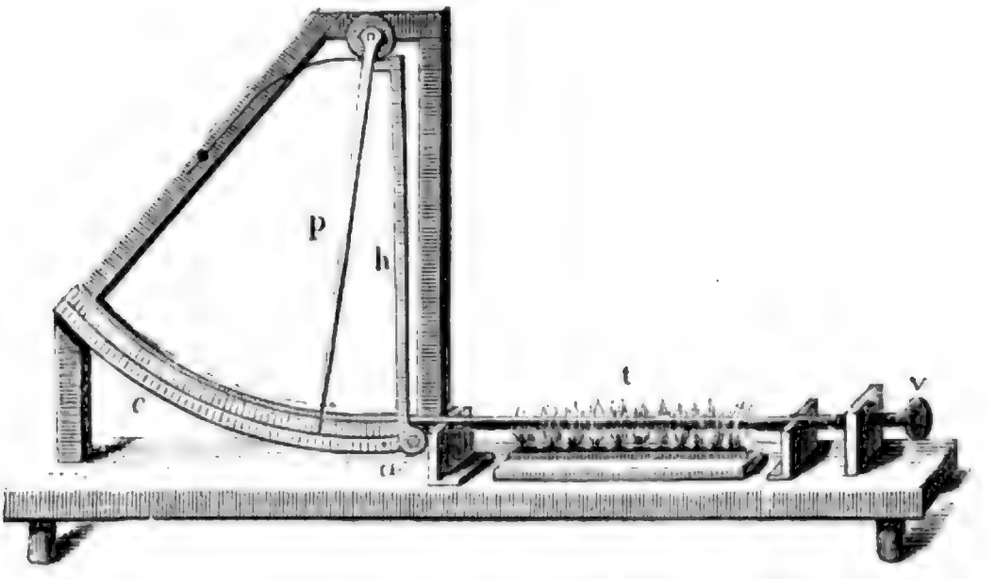
Außer dem Quecksilber, welches sich wegen seines niedrigen Gefrierpunktes und seines hohen Siedepunktes ganz besonders als thermometrische Flüssigkeit eignet, hat man auch noch gefärbten Weingeist zur Construction von Thermometern benutzt, welche namentlich zur Messung sehr niedriger Temperaturen geeignet sind. Das Wasser kann nicht als thermometrische Flüssigkeit benutzt werden, weil sein Gefrierpunkt zu hoch ist und weil, wie wir in §. 244 sehen werden, seine Ausdehnung höchst ungleichförmig ist.

Ausdehnung fester Körper. Weil die Ausdehnung fester Kör- 242
per durch die Wärme sehr gering ist, so muß man auf Mittel sinnen, durch welche sie dem Auge vergrößert wird. Dies geschieht z. B. beim Hebelpyrometer, Fig. 499 (a. f. S.). Die Stange t, deren Ausdehnung man beobachten will, steht mit ihrem einen Ende gegen die feste Schraube v an; das andere Ende des Stabes steht aber an einem Hebel h und zwar nahe an seinem Drehpunkt an, so daß das obere Ende dieses Hebels h schon einen ziemlich bedeutenden Weg zurücklegt, wenn sich die Stange t auch nur wenig ausdehnt. Die Bewegung des oberen Endes von h wird aber in gleicher Weise noch einmal durch den Hebel p vergrößert, dessen freies Ende sich an einem Gradbogen $c\,a$ hin bewegt.

Wenn sich beim Erkalten die Stange *t* wieder zusammenzieht, so werden die Hebel durch eine schwache Feder wieder zurückgedrückt.

Mit Hülfe von Apparaten, welche im Wesentlichen auf dem eben angedeuteten Principe beruhen, wurde die Ausdehnung vieler Körper ermittelt; es folgen hier nur einige der wichtigsten.

Fig. 499.



Für eine Temperaturerhöhung von 0 bis 100° C. dehnt sich aus:

Platin	um	0,00086	oder $^1/_{1167}$
Glas	„	0,00087	„ $^1/_{1147}$
Stahl, gehärtet . . .	„	0,00126	„ $^1/_{807}$
Eisen	„	0,00122	„ $^1/_{819}$
Kupfer	„	0,00171	„ $^1/_{584}$
Messing	„	0,00188	„ $^1/_{531}$
Blei	„	0,00285	„ $^1/_{351}$
Zink	„	0,00294	„ $^1/_{340}$

seiner Länge. Ein Stahlstab also, welcher bei 0° eine Länge von 807 Linien hat, wird bei 100° eine Länge von 808 Linien haben; ein Zinkstab von nur 340 Linien Länge wird sich aber bei einer Temperaturerhöhung von 0 bis 100° ebenfalls schon um 1 Linie ausdehnen. Unter allen oben angeführten Körpern dehnt sich Platin am wenigsten, Zink am stärksten aus.

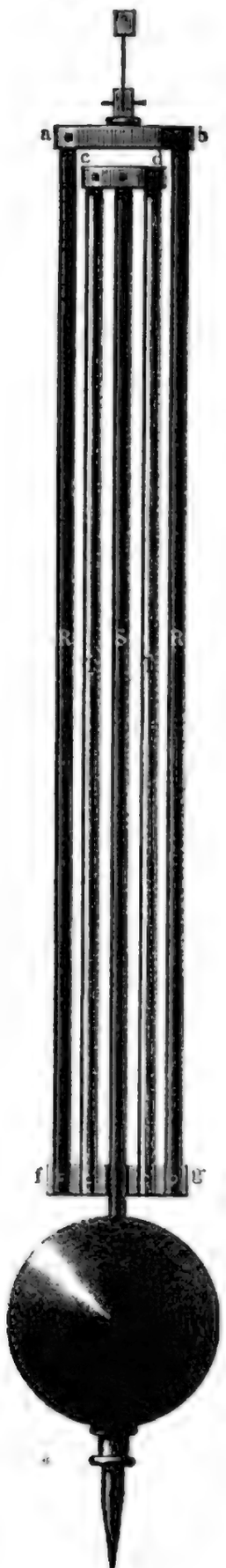
Zwischen 0 und 100° dehnen sich fast alle festen Körper gleichmäßig aus, d. h. ihre Ausdehnung ist der Temperaturerhöhung proportional. Bei einer Temperaturerhöhung von 0 bis 10° dehnt sich also das Kupfer um 0,000171, bei einer Temperaturerhöhung von 0 bis 1° dehnt es sich um 0,0000171 seiner Länge aus.

Die Zahl, welche ausdrückt, um den wievielsten Theil seiner Länge bei 0° sich ein fester Körper bei einer Temperaturerhöhung von 0 bis 1° ausdehnt, heißt der Coefficient der Längenausdehnung. Man hat nur die in der obigen Tabelle enthaltenen Zahlen durch 100 zu dividiren, um den Coefficienten der Längenausdehnung für Platin, Glas, Stahl u. s. w. zu erhalten.

Bezeichnen wir die Länge eines Körpers bei 0° C. mit L, den Ausdehnungscoefficienten der Substanz, aus welcher er besteht, mit a, so haben wir für die Länge L_t, welche er bei $t°$ Celsius einnehmen wird:

$$L_t = L_o\,(1 + at).$$

Fig. 500.



Mannigfache praktische Anwendungen, welche man von der Ausdehnung fester Körper durch die Wärme macht, wollen wir hier bloß andeuten.

Da alle Körper sich durch die Wärme ausdehnen, so wird ein aus einer einfachen Stange gebildetes Pendel bei höherer Temperatur länger sein als bei niedriger, es wird im Sommer langsamer schwingen als im Winter, und wenn ein solches Pendel zur Regulirung einer Uhr angewandt wird, so ist der Gang der Uhr von der Temperatur abhängig. Bei den Compensationspendeln ist dieser nachtheilige Einfluß der Ausdehnung vermieden. Fig. 500 stellt ein Compensationspendel dar. Es ist aus drei Eisenstäben, nämlich den beiden Stäben R und dem Stabe S, ferner aus zwei Zinkstäben T zusammengesetzt. Die Gesammtlänge des Pendels ist offenbar

$$L = R + S - T.$$

Bei einer Temperaturerhöhung von t Graden wird die Länge des Pendels:

$$L_t = (R + S)\,(1 + 0{,}0000122\,t) - T\,(1 + 0{,}0000294\,t).$$

Es ist aber $L = L_t$, wenn

$$(R + S)\;0{,}0000122\,t = T\,.\;0{,}0000294\,t,$$

wenn also

$$R + S = \frac{294}{122}\,T,$$

d. h. wenn die Länge des Eisenstabes S und eines der Eisenstäbe R zusammen sich zu der Länge eines der Zinkstäbe T umgekehrt verhält wie der Ausdehnungscoefficient des Eisens zu dem des Zinks.

Compensationspendel aus Eisen- und Messingstäben sind complicirter; sie bestehen aus 5 Eisen- und 4 Messingstäben.

Wenn ein Körper durch Erwärmung ausgedehnt wird, so findet dies mit großer Kraft Statt, d. h. es können sehr bedeutende Hindernisse, welche der Ausdehnung entgegenstehen, überwunden werden. Ebenso zieht sich ein Körper beim Erkalten mit großer Kraft zusammen. Legt man einen heißen eisernen Reif um

ein Rad, so daß er eben paßt, so wird nach der Erkaltung der Reif das Rad so fest zusammenhalten, wie man es auf keine andere Weise zu erreichen im Stande wäre.

243 **Die cubische Ausdehnung** ist die Vergrößerung, welche das Volumen eines Körpers durch die Temperaturerhöhung erleidet. Auch hier wird das Volumen des Körpers bei 0° zum Ausgangspunkte genommen, und unter dem Ausdehnungscoefficienten versteht man hier die Zahl, welche angiebt, um den wievielsten Theil seines ursprünglichen Volumens bei 0° sich ein Körper ausdehnt, wenn man ihn um 1° erwärmt. Wenn man sagt, der Ausdehnungscoefficient des Quecksilbers sei 0,00018, so heißt das, das Quecksilber dehnt sich bei einer Temperaturerhöhung von 1° um $^{18}/_{100000}$ seines Volumens bei 0° aus. Kennt man den Ausdehnungscoefficienten und das Volumen eines Körpers bei 0°, so kann man sein Volumen für eine beliebige Temperatur berechnen, vorausgesetzt, daß die Ausdehnung des Körpers bis zu dieser Temperatur regelmäßig ist.

Bei tropfbar-flüssigen und gasförmigen Körpern wird durch den Versuch unmittelbar die körperliche Ausdehnung bestimmt, während bei festen Körpern die körperliche Ausdehnung aus der beobachteten linearen berechnet werden muß.

Der Ausdehnungscoefficient für die körperliche Ausdehnung fester Körper ist dreimal so groß als der Ausdehnungscoefficient für lineare Ausdehnung.

Man kann sich davon durch folgende Schlußweise überzeugen. Es sei l die Seite eines Würfels bei 0°, so ist l^3 das Volumen desselben, welches wir mit v bezeichnen wollen; wenn nun der Würfel bis auf 100° erwärmt wird, so ist jede Seite $l\,(1 + a)$, wenn a den 100fachen Werth des Coefficienten für die Längenausdehnung bezeichnet, mithin ist jetzt der Inhalt des Würfels:

$$v' = l^3\,(1 + a)^3 = l^3\,(1 + 3\,a + 3\,a^2 + a^3).$$

Da aber a eine sehr kleine Größe ist, so kann man die höheren Potenzen derselben vernachlässigen, und der Werth von v' reducirt sich demnach auf

$$v' = l^3\,(1 + 3\,a) = v\,(1 + 3\,a).$$

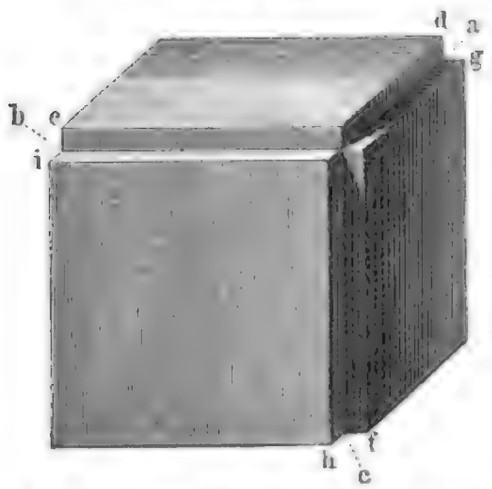
Bei einer Temperaturerhöhung von 100° ist also das Volumen v um $3\,a\,v$ gewachsen, der Ausdehnungscoefficient für das Volumen ist also $\frac{3a}{100}$, während $\frac{a}{100}$ der Längenausdehnungscoefficient ist.

Wir wollen versuchen, dies noch auf geometrischem Wege anschaulich zu machen.

Es sei $a\,b\,c$, Fig. 501, ein aus irgend einem festen Körper gebildeter Würfel bei 0°. Wenn nun dieser Würfel bei einer Temperaturerhöhung von 100° sich nur nach oben ausdehnte, so würde sein Volumen um die quadratische Platte $a\,d\,e\,b$ zunehmen, deren Inhalt $v\,a$ ist, wenn v das Volumen des ursprünglichen Würfels ist und a die obige Bedeutung hat. Wenn sich der Würfel nur nach der rechten Seite hin ausdehnte, so würde er hier um eine eben so große Platte $a\,g\,f\,c$ wachsen; und eine dritte Platte $c\,h\,i\,b$ endlich, deren Inhalt gleichfalls $a\,v$ ist, wird das Resultat der Ausdehnung des Körpers nach vorn sein. Der cubische Inhalt dieser drei Platten zusammen

ist also $3\,av$. Zur Vollendung des durch die Wärme vergrößerten Würfels müßte freilich noch der Inhalt der Ecken hinzuaddirt werden, welche da einzupassen sind, wo je zwei der eben betrachteten Platten mit einer Kante zusammentreffen; allein die Größe derselben ist so unbedeutend, daß sie vernachlässigt werden kann, da ja die Größe der linearen Ausdehnung bi sehr klein ist im Vergleich zu der Länge der Seiten des ursprünglichen Würfels, und man kann also $3\,av$ ohne merklichen Fehler für die ganze Zunahme des Volumens annehmen.

Fig. 501.



Der Coefficient für die Längenausdehnung des Glases z. B. ist 0,0000087, bei einer Temperaturerhöhung von 0 bis 100° wird demnach eine Glasmasse um $3 \,.\, 0{,}00087 = 0{,}00261$ ihres Volumens zunehmen; dasselbe gilt natürlich auch vom Inhalte eines Glasgefäßes. Wenn ein Glasgefäß bei 0° gerade 1000 Cubikcentimeter faßt, so wird sein Inhalt bei 100° bis auf 1002,61 Cubikcentimeter gewachsen sein.

Ausdehnung der Flüssigkeiten. Um die Ausdehnung ver- 244
schiedener flüssiger Körper zu bestimmen, kann man den Apparat Fig. 502 anwenden. Der Hals dieses Glasgefäßes von 3 bis 4^{cm} Durchmesser ist an einer Stelle ganz eng ausgezogen, so daß sich über der engen Stelle gewissermaßen ein Trichter befindet. Die engste Stelle des Halses a ist auf irgend eine Weise markirt. Man füllt nun die Kugel mit der zu untersuchenden Flüssigkeit, so daß sie noch über a hinaus im Trichter steht, und erkaltet das Ganze bis auf 0°, indem man den ganzen Apparat mit schmelzendem Schnee oder schmelzendem Eise umgiebt. Ist Alles bis auf 0° erkaltet, so entfernt man alle Flüssigkeit, welche noch über der Marke steht. Wenn man die so gefüllte Kugel wägt und vom gefundenen Gewichte das des Glasgefäßes abzieht, so erhält man das Gewicht der Flüssigkeit, welche bei 0° in die Kugel geht. Sobald man die Kugel erwärmt, dehnt sich die Flüssigkeit aus, sie steigt über die Marke a in den Trichter. Wenn man bis zu einer bestimmten Temperatur, etwa bis auf 100°, erwärmt hat, nimmt man alle über a stehende Flüssigkeit wieder weg und wägt dann von Neuem. Nach den beiden Wägungen läßt sich dann leicht die scheinbare Ausdehnung berechnen.

Fig. 502.

Die auf diese Weise bestimmte Ausdehnung ist nur die *scheinbare*; die wahre Ausdehnung der Flüssigkeit findet man erst, wenn man zu der scheinbaren Ausdehnung noch die Vergrößerung des Inhalts des Glasgefäßes durch die Wärme addirt.

Bei einer Temperaturerhöhung von 0 bis 100° dehnen sich aus:

Quecksilber	um	0,018
Wasser	„	0,045
Weingeist	„	0,100
Oel	„	0 100

ihres Volumens bei 0°. Bei Weingeist und Oel ist also die Ausdehnung durch die Wärme sehr bedeutend, so daß im Handel auf diesen Umstand wohl Rücksicht genommen werden muß.

Die meisten Flüssigkeiten dehnen sich zwischen 0 und 100° nicht regelmäßig aus. Am besten läßt sich dies zeigen, wenn man Thermometer von verschiedenen Flüssigkeiten construirt und ihren Gang mit einem Quecksilberthermometer vergleicht. Wenn man z. B. ein Wasserthermometer, welches längere Zeit einer Temperatur von 0° ausgesetzt war, erwärmt, so steigt es nicht gleich, sondern es sinkt und beginnt erst wieder zu steigen, wenn die Temperatur über $5^3/_4{}^0$ gestiegen ist. Bringt man die Ausdehnung des Glases in Rechnung, so ergiebt sich daraus, daß das Wasser bei 4° ein Dichtigkeitsmaximum hat, d. h. bei 4° ist das Wasser dichter als bei jeder anderen Temperatur. Wasser von 4° wird sich ausdehnen, mag man es nun erwärmen oder erkalten. (S. Supplementband §. 105 S. 239.)

Auch der Weingeist dehnt sich nicht ganz regelmäßig aus, weshalb ein Weingeistthermometer nicht bei allen Temperaturen mit einem Quecksilberthermometer harmoniren kann.

245 **Ausdehnung der Gase.** Die Gase dehnen sich durch Erwärmung weit stärker aus als die festen und flüssigen Körper, auch ist der Ausdehnungscoefficient für alle Gase fast genau derselbe, und endlich dehnen sich die Gase stets der Temperaturerhöhung proportional aus.

Zur Bestimmung des Ausdehnungscoefficienten der Gase hat man verschiedene Methoden angewandt, unter denen wohl folgende die einfachste ist. Eine Glaskugel ist, wie man Fig. 503 sieht, am Ende einer dünnen Glasröhre angeblasen; das andere Ende dieser Glasröhre ist in eine feine Spitze ausgezogen. Wenn man nun die Kugel in kochendes Wasser taucht, so natürlich, daß die Spitze ziemlich weit herausragt, so wird sich die Luft in derselben bald bis 100° erwärmen und in Folge dieser Erwärmung zum Theil aus der Kugel austreten. Nun wird die Spitze vor einer Weingeistlampe zugeschmolzen, und man läßt die Kugel allmälig erkalten; wenn sie ganz kalt geworden ist, kehrt man die Kugel um, steckt die Spitze in Quecksilber und bricht sie ab; nun wird natürlich das Quecksilber in die Kugel eindringen, weil ja die Luft in derselben durch die frühere Erwärmung verdünnt ist.

Fig. 503.

Wenn man die Kugel durch angelegten schmelzenden Schnee bis auf 0° erkaltet, so wird das eingedrungene Queck-

silber genau den Raum ausfüllen, um welchen sich die in der Kugel zurückgebliebene Luft bei einer Temperaturerhöhung von 0 bis 100° ausdehnt. Bestimmt man die Menge des eingedrungenen Quecksilbers durch Wägung, und ermittelt man alsdann das Gewicht der Quecksilbermenge, welche die ganze Kugel zu fassen vermag, so kann man danach den Ausdehnungscoefficienten der Luft berechnen.

Als Resultat der genauesten Versuche, welche nach dieser und nach anderen Methoden angestellt worden sind, ergiebt sich, daß die Ausdehnung der trocknen atmosphärischen Luft bei einer Temperaturerhöhung von 0 bis 100° C. 0,365 des Volumens bei 0° beträgt. Für eine Temperaturerhöhung von 1° C. ist also der Ausdehnungscoefficient der Luft 0,00365. Bezeichnen wir also mit V_o das Volumen einer gegebenen Luftmasse bei 0°, mit V_t das Volumen, welches dieselbe Luftmasse bei t° C. einnimmt, so haben wir also

$$V_t = V_o\,(1 + 0{,}00365\,t) \quad \ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

Das specifische Gewicht der Luft ist ihrem Volumen umgekehrt proportional. Bezeichnen wir also das specifische Gewicht der Luft bei 0° und t° mit d_o und d_t, so ist

$$d_t = \frac{d_o}{1 + 0{,}00365\,t} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 2)$$

Näheres darüber in §. 18 des Supplementbandes (Seite 18).

In Folge ihres geringeren specifischen Gewichtes wird die erwärmte Luft aufsteigen, während die kältere zu Boden sinkt. In einem geheizten Zimmer steigt die warme Luft an die Decke, oben entströmt dem Zimmer aus allen Ritzen und Fugen die warme Luft, während unten kalte einströmt.

Wenn man im Winter die in einen kalten Raum führende Thür eines geheizten Zimmers etwas öffnet und eine brennende Kerze an das obere Ende des Spaltes hält, wie man Fig. 504 sieht, so zeigt die nach außen gerichtete Flamme einen von dem warmen Zimmer nach dem kalten Raume gerichteten Luftstrom an. Rückt man nun mit der Kerze mehr und mehr herunter, so stellt sich die Flamme immer mehr und mehr aufrecht, ungefähr in der halben Höhe der Oeffnung steht sie ganz still, sie ist hier nicht durch Luftströmung afficirt; bringt man sie aber noch weiter herunter, so wird die Flamme von außen nach innen getrieben. Man sieht also, daß die erwärmte Luft oben aus- und daß dagegen unten die kalte Luft in das Zimmer einströmt.

Fig. 504.

Daher kommt es, daß es am Boden eines geheizten Zimmers weit kälter ist als an der Decke, daß sich hohe Zimmer schwerer heizen als niedrige u. s. w.

In einem Schornsteine wird die Luft durch das Feuer erwärmt, die erhitzte Luft steigt

in die Höhe, und von unten her dringt kalte Luft ein, welche, durch das Feuer ſtreichend, dieſem ſtets Sauerſtoff zuführt. Der durch den Schornſtein bewirkte Luftzug bringt alſo die zur Unterhaltung lebhafter Verbrennung nöthige Luftmenge in den Feuerraum. Es verſteht ſich von ſelbſt, daß zwiſchen der Größe des Feuerraumes und der Höhe und Weite des Schornſteins die richtigen Verhältniſſe ſtattfinden müſſen, wenn der Schornſtein ſeinen Zweck möglichſt vollſtändig erfüllen ſoll.

Auch bei Lampen hat der gläſerne Schornſtein den Zweck, einen Luftzug zu unterhalten, welcher der Flamme die zur lebhaften Verbrennung nöthige Sauerſtoffmenge zuführt.

Zweites Capitel.

Veränderung des Aggregatzustandes.

Das Schmelzen. Eine Menge von festen Körpern wird durch die Wärme geschmolzen, d. h. aus dem festen Zustande in den flüssigen übergeführt. 246

Da die Wärme alle Körper durchdringt und ausdehnt, so liegt die Frage nahe, ob sie auch alle festen Körper schmelzen kann. In dieser Beziehung findet man große Unterschiede unter den Körpern; einige sind leicht schmelzbar und gehen schon bei niedrigen Temperaturen in den flüssigen Zustand über, z. B. Eis, Phosphor, Schwefel, Wachs, Fett u. s. w.; andere bedürfen zum Schmelzen schon höherer Temperaturen, wie Zinn, Blei u. s. w.; endlich giebt es Körper, welche erst bei sehr hohen Temperaturen schmelzen, wie Eisen, Platin. Die Kohle zu schmelzen, ist bis jetzt noch nicht gelungen, wenngleich mehrere Physiker behaupten, an den Kanten von Diamanten, die sie dem Versuche unterworfen hatten, Spuren von Schmelzung bemerkt zu haben. Bei hinreichender Temperaturerhöhung sind wohl alle Körper schmelzbar, welche nicht schon vorher durch den Einfluß der Wärme eine chemische Zersetzung erleiden, wie dies bei den meisten organischen Körpern der Fall ist.

Jede Substanz, wenn sie überhaupt schmelzbar ist, hat einen festen Schmelzpunkt, d. h. das Schmelzen einer und derselben Substanz findet stets bei derselben Temperatur Statt; dagegen weichen die Schmelzpunkte verschiedener Substanzen sehr von einander ab, wie die folgende Tabelle zeigt:

Schmiedeeisen	. . . . .	schmilzt bei	1500 bis	1600° C.
Stahl	. . . . .	„ „	1300 „	1400 „
Gußeisen	. . . . .	„ „	1050 „	1200 „
Gold	. . . . .	„ „		1250 „
Silber	. . . . .	„ „		1000 „
Bronze	. . . . .	„ „		900 „
Antimon	. . . . .	„ „		432 „
Zink	. . . . .	„ „		360 „
Blei	. . . . .	„ „		334 „
Kadmium	. . . . .	„ „		321 „
Wismuth	. . . . .	„ „		256 „

Zinn	schmilzt bei	230°	C.
Legirung aus 5 Thln. Zinn, 1 Thl. Blei	„ „	194	„
Schwefel	„ „	109	„
Legirung aus 4 Thln. Wismuth, 1 Thl. Blei, 1 Thl. Zinn (Rose'sches Metall)	„ „	94	„
Legirung aus 4 Thln. Wismuth, 2 Thln. Blei, 1 Thl. Zinn, 1 Thl Kadmium (Wood's Metall)	„ „	71	„
Natrium	„ „	90	„
Kalium	„ „	58	„
Phosphor	„ „	43	„
Stearinsäure	„ „	70	„
Weißes Wachs	„ „	68	„
Stearin	„ „	49 bis 43	„
Eis	„ „	0	„
Terpentinöl	„ „	— 10	„
Quecksilber	„ „	— 39	„

Die aufmerksame Betrachtung dieser Tabelle zeigt, daß die Legirungen meist einen tieferen Schmelzpunkt haben als die einzelnen Metalle, aus denen sie zusammengesetzt sind; darauf beruht auch die Anwendung des Schnelllothes der Blechner, welches eine Legirung von Blei und Zinn ist. Besonders interessant sind in dieser Beziehung die in obiger Tabelle angeführte Rose'sche und Wood'sche Metalllegirung.

247 **Gebundene Wärme.** Es ist eine bedeutende Menge Wärme nöthig, um Eis oder Schnee von 0° in Wasser von 0° zu verwandeln. Diese Wärme ist in dem Wasser gebunden, latent, sie ist für das Gefühl und das Thermometer gleichsam verschwunden.

Wenn 1 Pfund Wasser von 79° mit 1 Pfund Schnee von 0° gemischt wird, so erhält man 2 Pfund Wasser von 0°. Alle Wärme also, welche in dem heißen Wasser enthalten war, ist für das Thermometer spurlos verschwunden; sie ist lediglich dazu verwandt worden, um Schnee von 0° in Wasser von 0° zu verwandeln.

Nehmen wir als Einheit der Wärmemengen dasjenige Wärmequantum an, welches erforderlich ist, um die Temperatur von 1 Gramm Wasser um 1° C. zu erhöhen, so sind also 79 solche Wärmeeinheiten nöthig um 1 Gramm Schnee oder Eis von 0° zu schmelzen, oder mit anderen Worten: bei der Schmelzung von 1 Gramm Schnee oder Eis werden 79 Wärmeeinheiten latent oder gebunden. Die latente Wärme des Wassers ist 79.

Die oben definirte Wärmeeinheit (Calorie) wird auch in anderen Fällen zur Messung der Wärmemengen in Anwendung gebracht.

Diese Wärmemenge, welche beim Schmelzen des Schnees oder des Eises gebunden wird, wird also lediglich dazu verwandt, die Cohäsion zwischen den Eismolekülen so weit zu überwinden, daß sie mit der größten Leichtigkeit an

einander verschoben werden können, daß also die Masse flüssig wird. Die in dem Wasser enthaltene latente Wärme hat also nur die Function, den flüssigen Zustand zu erhalten, und kann deshalb, auf diese Weise gleichsam beschäftigt, keine anderweitigen Wirkungen hervorbringen, sie scheint deshalb auch für das Thermometer verschwunden.

So wie bei der Schmelzung des Eises und des Schnees Wärme gebunden wird, so ist dies auch beim Schmelzen anderer Körper der Fall. Folgendes sind die Werthe der latenten Wärme für einige Körper nach Irvine's Bestimmungen:

Schwefel	80
Blei	90
Wachs	97
Zink	274
Zinn	278
Wismuth	305.

Die Bedeutung dieser Zahlen ist leicht einzusehen; während ein Gramm Schnee zu seiner Schmelzung 79 Wärmeeinheiten, d. h. 79mal so viel Wärme nöthig hat, als erforderlich ist, um die Temperatur von einem Gramm Wasser um 1° zu erhöhen, sind zur Schmelzung von einem Gramm Schwefel 80, zur Schmelzung von einem Gramm Blei, Wachs, Zink u. s. w. 90, 97, 274 solcher Wärmeeinheiten (Calorieen) nöthig.

Es giebt zweierlei Wege, auf denen man einen festen Körper in flüssigen Zustand versetzen kann: 1) durch Schmelzung, indem man ihm von außen her so viel Wärme zuführt, als er aufnehmen muß, um in den flüssigen Zustand überzugehen; oder 2) durch Auflösung, d. h. im Allgemeinen dadurch, daß man ihn mit irgend einem anderen Stoffe zusammenbringt, mit welchem er ein flüssiges Gemenge bildet.

Wenn ein Körper durch Auflösung in den flüssigen Zustand übergeführt wird, so findet dabei ebenso eine Bindung von Wärme Statt, wie beim Schmelzen, und wenn also von außen her keine Wärme zugeführt wird, so kann die Wärmebindung offenbar nur auf Kosten der Temperatur des aufzulösenden Körpers und des Lösungsmittels stattfinden, d. h. um den festen Körper in flüssigen Zustand überzuführen, wird ein Theil der bis dahin fühlbaren Wärme verwendet werden, die Temperatur der Lösung wird also niedriger sein.

Löst man z. B. möglichst rasch 1 Pfund salpetersaures Ammoniak von 0° in 1 Pfund Wasser von 0°, so kann die bei der Auflösung des Salzes zu bindende Wärme nur aus der fühlbaren Wärme des Wassers und des Salzes selbst genommen werden, und deshalb sinkt die Temperatur der Lösung, und zwar auf 8 bis 10 Grad unter Null.

Auf diesem Principe beruhen die sogenannten Kältemischungen. Besonders stark ist die Temperaturerniedrigung, wenn zwei feste Körper sich bei ihrer Mischung zu einer Flüssigkeit verbinden. So sinkt z. B., wenn man 1 Pfund Kochsalz von 0° mit 3 Pfund Schnee (oder feingestoßenem Eis)

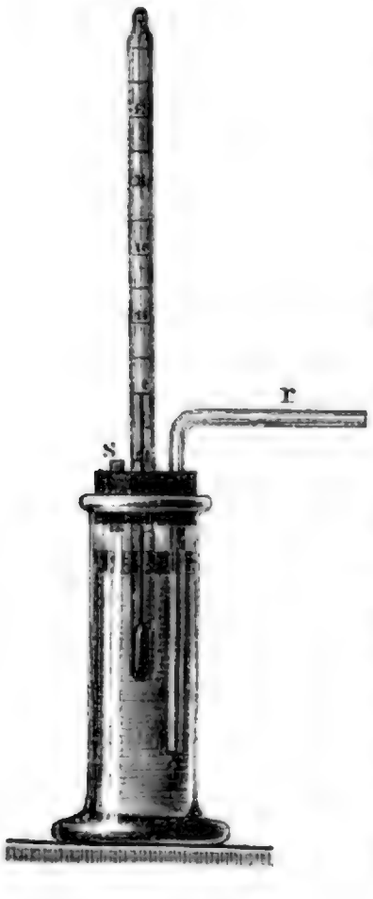
mengt, die Temperatur auf — 17,7° C., den Nullpunkt des Fahrenheit'schen Thermometers.

248 **Das Erstarren.** Die normale Erstarrungstemperatur eines Körpers fällt mit seinem Schmelzpunkt zusammen. Schnee von 0° schmilzt und liefert Wasser von 0°, wenn ihm noch Wärme zugeführt, und Wasser, welches bis auf 0° erkaltet ist, erstarrt bei dieser Temperatur, wenn ihm Wärme entzogen wird. — Das Schmelzen des festen Zinns findet ebenso wie das Erstarren des flüssigen bei 230° C. statt.

Beim Erstarren eines flüssigen Körpers muß alle Wärme wieder frei werden, welche bei seinem Schmelzen gebunden wurde. Wenn das Erstarren einer Flüssigkeit bei der normalen Erstarrungstemperatur vor sich geht, so läßt sich die freiwerdende Wärme nicht leicht nachweisen, weil das Festwerden ganz allmälig geschieht, weil also das Freiwerden einer bestimmten Wärmemenge sich auf eine so große Zeit vertheilt, daß sie sich in die Umgebung verliert, ohne eine merkliche Temperaturerhöhung hervorbringen zu können. Die Wärme, welche beim Erstarren einiger Partikelchen frei wird, reicht eben nur hin, die benachbarten noch einige Zeit vor dem Erstarren zu schützen.

Unter verschiedenen Umständen, namentlich aber wenn die erkaltende Flüssigkeit vollkommen ruhig steht, kommt es vor, daß sie weit unter die normale Erstarrungstemperatur erkaltet, ohne fest zu werden. Wird dann durch irgend einen Anstoß das Erstarren eingeleitet, so findet es auf einmal massenhaft statt und dabei steigt die Temperatur bis zum normalen Erstarrungspunkt. —

Fig. 505.



So hat Fahrenheit bereits im Jahre 1714 die Beobachtung gemacht, daß ganz ruhig stehendes Wasser oft bis auf 10° unter Null erkaltet, ohne fest zu werden, daß aber alsdann bei dem geringen Anstoß eine massenhafte Eisbildung stattfindet, wobei dann das Thermometer wieder auf 0° steigt.

Man kann diese Erscheinung mit Hülfe der in Fig. 505 abgebildeten Vorrichtung beobachten. Ein Glascylinder ist zum Theil mit Wasser gefüllt und auf dasselbe ist eine 1 bis 2 Linien hohe Schicht von Oel gegossen. Der Kork, welcher den Glascylinder oben schließt, ist mit drei Oeffnungen versehen; in der einen steckt ein Thermometer, dessen Gefäß bis in das Wasser hinabreicht. In der zweiten steckt ein gebogenes Glasrohr *r*, welches im Cylinder ungefähr 1 Zoll über dem Boden mündet. Durch die dritte Oeffnung, deren Stelle in unserer Figur durch ein kurzes darin steckendes Glasröhrchen *s* bezeichnet ist, steht die Luft im oberen Theil des Cylinders mit der äußeren in Verbindung.

Dieser Apparat wird nun in ein weiteres Gefäß gestellt und mit Schnee umgeben, bis die Temperatur des Wassers im Innern ungefähr auf 0° gesunken ist. Alsdann wird der Schnee vorsichtig entfernt und unter Vermeidung jeder Erschütterung durch eine Kältemischung von — 6 bis — 7° C. ersetzt. Wenn in Folge dessen die Temperatur des Wassers auf — 3 bis — 4° C. gesunken ist, kann man das Erstarren desselben dadurch einleiten, daß man durch das Rohr *r* etwas Luft einbläst. Augenblicklich bilden sich durch die ganze Wassermasse hindurch zahllose feine Eisblättchen und das Thermometer steigt plötzlich wieder auf 0°.

Unterschwefligsaures Natron schmilzt bei 45° C.; läßt man die geschmolzene Masse ruhig stehen, so sinkt ihre Temperatur allmälig auf die der Umgebung, ohne daß sie fest wird; wird aber durch Erschütterung das verzögerte Erstarren eingeleitet, so steigt augenblicklich ihre Temperatur um 18 bis 20°. Aehnliche Beobachtungen kann man mit einer bei höherer Temperatur gesättigten Lösung von Glaubersalz machen.

So oft ein flüssiger Körper mit einem festen eine feste Verbindung eingeht, wird gleichfalls Wärme frei. So verbindet sich der gebrannte Gyps, der gebrannte Kalk mit Wasser zu festen Körpern, welche die Chemiker Hydrate nennen. Die Bildung solcher Hydrate ist meist von einer bedeutenden Wärmeentwickelung begleitet, welche zum großen Theil daher rührt, daß das Wasser, indem es seine Flüssigkeit verliert, seine latente Wärme abgiebt.

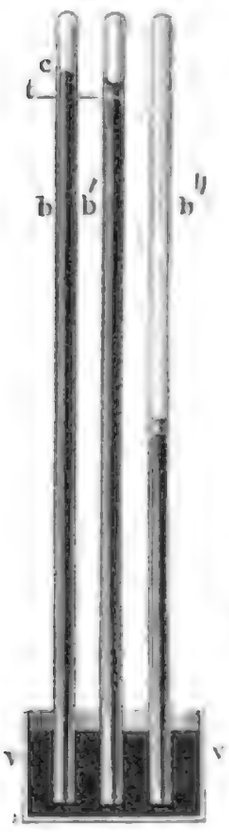
Dampfbildung. Wenn eine Flüssigkeit mit der Luft in Berührung 249
ist, so nimmt ihre Menge mehr und mehr ab, und nach kürzerer oder längerer Zeit verschwindet sie vollständig. Das Wasser, welches nach einem Regen den Boden bedeckt, widersteht nicht dem Wehen eines trockenen Windes und der Einwirkung des Sonnenscheins, es verschwindet, nicht allein weil es in den Boden einsickert, sondern auch weil es in der Luft verdunstet.

Das Phänomen der Verdunstung geht rascher vor sich, wenn man eine Schale mit Wasser über Feuer zum Kochen bringt; in kurzer Zeit ist alles Wasser verschwunden, und doch ist es nicht vom Gefäße verschluckt worden. Es geht daraus hervor, daß die Flüssigkeiten ihren Aggregatzustand ändern, daß sie unsichtbar und expansibel werden wie die Gase. Mit dem Namen Dampf bezeichnet man eine in gasförmigen Zustand übergegangene Flüssigkeit.

Man war lange Zeit der irrigen Meinung, daß die Dämpfe für sich selbst nicht bestehen könnten; man glaubte, sie seien ganz in derselben Weise in der Luft aufgelöst wie die Salze im Wasser; um eine Flüssigkeit gasförmig zu machen, bedürfe es ebenso eines Auflösungsmittels, der Luft, wie ein Lösungsmittel, etwa Wasser, nöthig ist, um die festen Salze flüssig zu machen. Um die Unrichtigkeit dieser Meinung darzuthun und zugleich die wahren Gesetze der Dampfbildung zu studiren, muß man machen, daß die Dampfbildung im luftleeren Raume vor sich geht. Dazu eignet sich nun die Toricelli'sche Leere ganz vorzüglich, nicht allein weil man es mit einem vollkommen luftleeren Raume

zu thun hat, sondern auch weil die Depression der beweglichen Queckſilberſäule ein Mittel bietet, die Expanſivkraft der Dämpfe zu meſſen.

Fig. 506.



Nehmen wir an, man habe in einem weiteren, mit Queckſilber gefüllten Gefäße $v\,v'$ (Fig. 506) drei Toricelli'ſche Röhren neben einander geſtellt, ſo wird in allen das Queckſilber gleich hoch ſtehen; wenn man aber mit Hülfe einer gekrümmten Pipette etwas Aether in die eine Röhre b'' bringt, ſo ſteigt er alsbald bis zur Toricelli'ſchen Leere in die Höhe, und augenblicklich ſinkt auch der Gipfel der Queckſilberſäule ungefähr um die Hälfte der Barometerhöhe. Dem Gewichte der kleinen Aetherſchicht, welche jetzt auf dem Queckſilber ſchwimmt, kann man dieſe Depreſſion nicht zuſchreiben; hat man, wie es nöthig iſt, wenn der Verſuch entſcheidend ſein ſoll, Aether genommen, welcher durch Kochen vollſtändig von Luft befreit worden iſt, ſo kann man jene Depreſſion auch nicht der aus dem Waſſer ſich entbindenden Luft zuſchreiben. Aus dem Aether müſſen ſich alſo Dämpfe entwickelt haben, welche, wie die Gaſe, eine Tenſion haben; denn dieſe Aetherdämpfe wirken gerade ſo als ob man eine kleine Portion Luft in die leere Kammer hätte aufſteigen laſſen.

Die Größe der Depreſſion giebt zugleich ein Maß für die Spannkraft der Dämpfe. Nehmen wir an, die durch die Aetherdämpfe deprimirte Queckſilberkuppe ſtehe um 400 Millimeter tiefer als die Kuppe c des erſten Barometers, über welcher ſich noch ein vollkommenes Vacuum befindet, ſo iſt klar, daß die Aetherdämpfe auf die Queckſilberkuppe der Röhre b'' gerade ſo ſtark drücken, wie eine Queckſilberſäule von 400 Millimeter Höhe. Die Depreſſion von 400 Millimeter iſt alſo wirklich das Maß für die Spannkraft des Aetherdampfes.

Hätte man bei dem dritten Barometerrohre b' Waſſer anſtatt Aether in das Vacuum ſteigen laſſen, ſo würde man eine weit unbedeutendere Depreſſion erhalten haben als beim Aether; bei einer Temperatur von 18° C. wird die Depreſſion im Waſſerbarometer nur ungefähr 15 Millimeter betragen, oder mit anderen Worten, die Spannkraft des Waſſerdampfes hält unter dieſen Umſtänden dem Druck einer Queckſilberſäule von 15 Millimeter das Gleichgewicht.

250 **Maximum der Spannkraft der Dämpfe.** Wenn in einen luftleeren Raum ſo viel Flüſſigkeit gebracht wird, daß ſie nicht ganz verdampfen kann, wenn alſo, nachdem der vorher luftleere Raum mit Dampf erfüllt iſt, noch Flüſſigkeit übrig bleibt, ſo unterſcheidet ſich ein ſolcher Dampf in ſeinem Verhalten weſentlich von dem Verhalten der Gaſe, wie wir es früher auf S. 104 kennen lernten, ein ſolcher Dampf folgt nämlich dem Mariotte'ſchen Geſetze nicht mehr.

Um dies richtig zu verſtehen, müſſen wir auf den S. 104 beſchriebenen Verſuch zurückkommen. Wenn ſich in dem Barometerrohre $a\,g$, Fig. 507,

über dem Gipfel der Queckſilberſäule Luft befindet, ſo wird, wenn man das Rohr tiefer in das Gefäß hinabdrückt, wie es in Fig. 507 bei B dargeſtellt iſt, dadurch die Luft auf einen kleineren Raum $s'g'$ zuſammengepreßt, und dabei wächſt ihre Spannkraft, ſo daß mit dem Niederdrücken des Rohres auch eine Senkung des Gipfels der Queckſilberſäule von der Höhe s bis zur Höhe s' verbunden iſt.

Fig. 507.

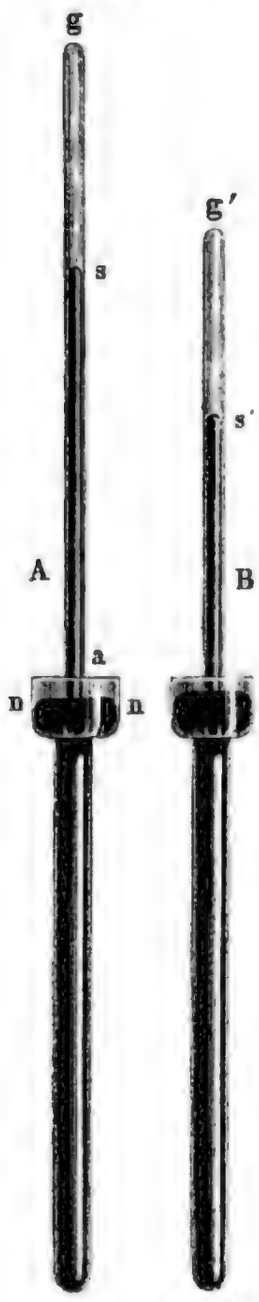
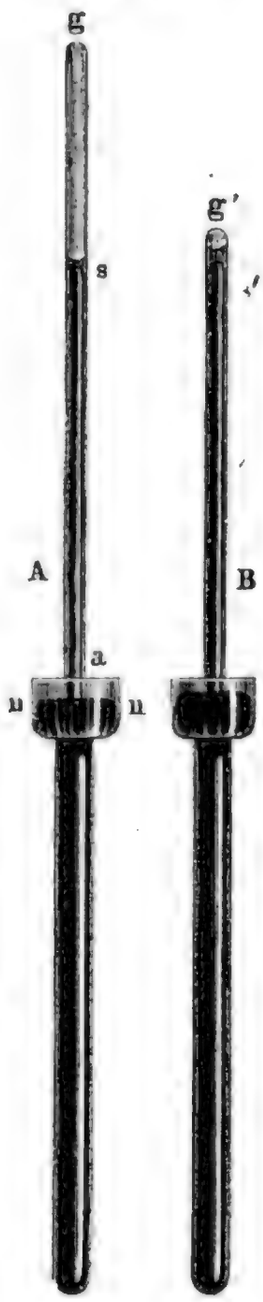


Fig. 508.



Um denſelben Verſuch mit Aetherdampf ſtatt mit Luft zu wiederholen, füllt man die Toricelli'ſche Röhre ſehr ſorgfältig mit Queckſilber, ſo daß alle Luft möglichſt entfernt iſt, was man am vollſtändigſten durch Auskochen oder durch die Luftpumpe erreichen kann. Iſt die Röhre bis auf ungefähr 1 Centimeter mit Queckſilber gefüllt, ſo gießt man dieſen Raum noch mit ausgekochtem, luftfreiem Aether voll, kehrt die Röhre auf die bekannte Weiſe um und taucht ihr unteres Ende in das Queckſilbergefäß. Der Aether ſteigt in die Höhe, ein Theil deſſelben verwandelt ſich in Dampf, welcher die bereits im vorigen Paragraphen betrachtete Depreſſion der Queckſilberſäule bewirkt, während noch ein Theil des Aethers in flüſſigem Zuſtande auf dem Queckſilber ſchwimmend zurückbleibt.

Wenn man aber nun die Röhre ag, Fig. 508, tiefer in das Gefäß hinabdrückt, wenn man ſie aus der Stellung A, Fig. 508, in die Stellung bei B bringt, ſo behält der Gipfel der Queckſilberſäule unverändert ſeine Höhe bei, wie auch das Volumen des Dampfraumes $s'g'$ verkleinert ſein mag.

Durch Verkleinerung des mit Aetherdampf gefüllten Raumes wird alſo die Spannkraft dieſes Dampfes nicht vermehrt. Je mehr man aber niederdrückt, deſto mehr nimmt die Menge des flüſſigen Aethers zu, die Verkleine-

rung des mit Aetherdämpfen erfüllten Raumes bewirkt also, daß sich ein Theil der Dämpfe wieder zu flüssigem Aether condensirt, während der übrige Dampf seine Spannkraft nicht ändert. Wenn man also den mit Aetherdampf gefüllten Raum auf $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$ u. s. w. comprimirt, so wird auch $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$ u. s. w. des Dampfes condensirt. Fährt man fort, das Rohr niederzudrücken, so gelangt man bald zu einem Punkte, wo aller Dampf verdichtet ist, so daß sich nur noch flüssiger Aether über der Quecksilbersäule befindet; dieses völlige Verschwinden der Dampfblase ist jedoch schwer zu erreichen, weil der Aether immer etwas absorbirte Luft enthält.

Wenn sich der aus einer Flüssigkeit entwickelte Dampf unter den eben betrachteten Umständen befindet, so daß sich durch Zusammendrücken auf einen kleineren Raum seine Spannkraft nicht vermehren läßt, so nennt man ihn einen gesättigten Dampf. Er besitzt das Maximum der Spannkraft, dessen der Dampf der fraglichen Flüssigkeit bei der Temperatur des Raumes, in welchem er sich befindet, überhaupt fähig ist.

Wenn man das Rohr aus der Stellung B, Fig. 508, wieder in die Höhe zieht, so behält der Gipfel der Quecksilbersäule immer noch dieselbe Höhe, die Spannkraft des Dampfes im oberen Theile des Rohres ändert also bei Vergrößerung des Raumes seine Spannkraft nicht, weil in dem Maße, wie dieser Raum vergrößert wird, sich sogleich neuer Dampf aus der Flüssigkeit entwickelt, so daß stets der Zustand der Sättigung erhalten, also der Dampf stets im Maximum der Spannkraft bleibt.

Wenn aber ein Raum eben mit gesättigtem Dampfe erfüllt ist, ohne daß noch Flüssigkeit vorhanden wäre, welche neuen Dampf liefern könnte, so wird bei einer Vergrößerung des Raumes der vorhandene Dampf sich ausdehnen, und nun ist er nicht mehr gesättigt, er ist nicht mehr im Maximum der Spannkraft und verhält sich nun auch ganz wie ein Gas. Die Spannkraft eines nicht gesättigten Dampfes läßt sich durch Compression erhöhen, bis es wieder gesättigt, bis das Maximum der Spannkraft wieder erreicht ist.

Man sieht daraus, daß der Unterschied zwischen Gasen und Dämpfen nur ein relativer ist. Ein gesättigter Dampf kann bei Abschluß der Flüssigkeit, die ihn liefert, durch Vergrößerung des ihm gebotenen Raumes in den Zustand eines gewöhnlichen Gases übergeführt werden, während umgekehrt viele Gase, z. B. Kohlensäure, Ammoniakgas, schweflige Säure u. s. w., durch hinlängliche Compression in den Zustand eines gesättigten Dampfes, also auch in den tropfbar-flüssigen Zustand übergeführt werden können.

Solche Gase, welche man durch fortgesetzte Compression noch nicht tropfbarflüssig zu machen im Stande war, nennt man permanente Gase.

Im gewöhnlichen Leben bezeichnet man mit dem Namen der Dämpfe nur solche gasförmige Körper, die bei dem mittleren Druck und der mittleren Temperatur der Atmosphäre noch tropfbar-flüssig sein können, wie Aether, Weingeist, Wasser u. s. w.

Einfluss der Temperatur auf die Spannkraft des gesättigten Dampfes. 251 Während demnach die Spannkraft eines geſättigten Dampfes ſich durch Compreſſion nicht vergrößern läßt, wächſt ſie dagegen namhaft bei ſteigender Temperatur. Von der Abhängigkeit zwiſchen der Spannkraft eines geſättigten Dampfes und der Temperatur kann man ſich ſchon durch Dampfbarometer überzeugen, wie wir ſie in §. 249 kennen lernten. In einem Aetherdampfbarometer z. B. beträgt die Depreſſion der Queckſilberſäule bei einer Temperatur von 0^0 nur 182^{mm}, bei einer Temperatur von 30^0 C. beträgt ſie ſchon 637^{mm}.

Während die Spannkraft des geſättigten Waſſerdampfes bei der mittlern Temperatur der Atmoſphäre nur einer Queckſilberſäule von wenigen Millimetern das Gleichgewicht halten kann, iſt ſie bei höheren Temperaturen im Stande, die ſtärkſten Dampfkeſſel zu zertrümmern.

Man kann nun fragen, welches wohl das Maximum der Tenſion des Dampfes in einem Raume ſein wird, welcher an verſchiedenen Stellen ungleich erwärmt iſt. Nach den Bedingungen des Gleichgewichtes gasförmiger Körper muß an allen Stellen dieſes Raumes der Dampf gleiche Tenſion haben, und da an den kälteren Stellen die Spannkraft des Dampfes nicht ſo groß ſein kann als an den wärmeren, ſo iſt klar, daß im ganzen Raume die Tenſion der Dämpfe dieſelbe ſein muß wie an der kälteſten Stelle, daß alſo an den wärmeren Stellen der Dampf nicht das Maximum der Spannkraft erreichen kann, welches dieſer höheren Temperatur zukommt.

Fig. 509.

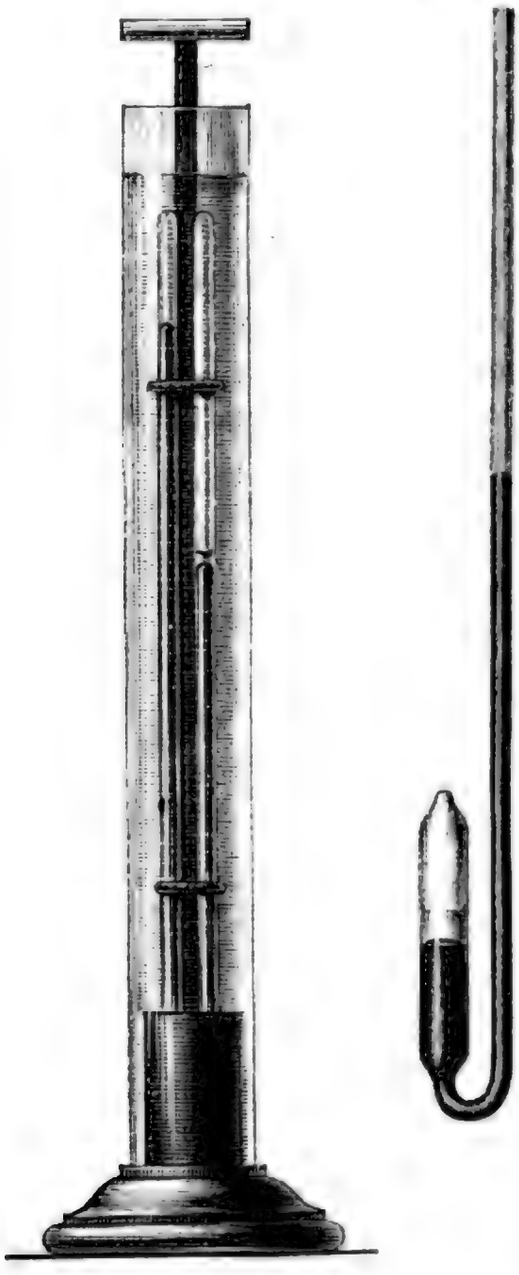
Dies Princip läßt ſich mit Hülfe des Apparates Fig. 509 anſchaulich machen. Zwei Glaskölbchen *a* und *b*, welche beide etwas Aether enthalten, ſind durch eine Röhre *c* verbunden; durch den Kork, welcher *b* verſchließt, geht eine zweite abwärts gebogene Röhre *d*. Wenn man den Aether in *a* und *b* ins Kochen bringt (es geſchieht dies am beſten dadurch, daß man ſie in heißes Waſſer taucht), ſo entweichen die Dämpfe durch die Röhre *d* und nehmen die Luft aus dem Apparate mit fort. Nun taucht man das untere Ende der Röhre *d* in ein Gefäß mit Queckſilber und entfernt die Wärmequellen, welche den Aether ins Kochen gebracht hatten. Alsbald wird *a* und *b* bis auf die Temperatur der umgebenden Luft erkaltet ſein, die Spannkraft der Dämpfe im

Apparate nimmt dabei bis zu einer bestimmten Gränze ab, und das Queckſilber ſteigt demnach in der Röhre *d* bis zu einer bestimmten Höhe, welche von der Temperatur der umgebenden Luft abhängt. Taucht man nun das eine Kölbchen in Schnee oder in eine Kältemiſchung, ſo ſteigt das Queckſilber alsbald eben ſo hoch, als ob beide Kölbchen dieſelbe Erkaltung erfahren hätten.

Darauf gründet ſich die Anwendung des Condenſators bei Dampfmaſchinen, den wir ſpäter werden kennen lernen.

252 **Messung der Spannkraft der Wasserdämpfe.** Um die Spannkraft des Waſſerdampfes zu beſtimmen, hat man verſchiedenartige Apparate anzuwenden, je nachdem man ſie für eine Temperatur zwiſchen 0° und 100° oder über 100° ermitteln will.

Fig. 510. Fig. 511.



Zwiſchen 0° und 100° wendet man den in Fig. 510 abgebildeten Apparat an. Er beſteht aus zwei Barometerröhren, welche neben einander in daſſelbe Gefäß eingetaucht ſind; die erſte dieſer Röhren bildet ein vollſtändiges Barometer, in der zweiten befindet ſich über dem Queckſilber etwas Waſſer, welches zum Theil im leeren Raume verdampft. Dieſe beiden Röhren werden mittelſt eines Eiſenſtabes in ein hinlänglich tiefes Glasgefäß eingeſenkt. Dieſes Gefäß iſt ganz mit Waſſer gefüllt, welches man bis zu jeder beliebigen Temperatur zwiſchen 0° und 100° erwärmen kann. Die Temperatur dieſes Waſſers, welches durch zweckmäßig angebrachte Thermometer beſtimmt wird, iſt zugleich die der beiden Barometer und des Waſſerdampfes in dem einen. Um die Elaſticität des Waſſerdampfes zu erhalten, welche jedem Temperaturgrade entſpricht, hat man nur zu ermitteln um wie viel die Queckſilberkuppe im Dampfbarometer tiefer ſteht, als der Gipfel der Queckſilberſäule im vollſtändigen Barometer.

Um die Spannkraft der Dämpfe über 100° zu meſſen, läßt ſich folgendes Verfahren anwenden. An einer ziemlich langen Glasröhre, Fig. 511, iſt ein weiteres Gefäß angeſchmolzen, ungefähr ſo wie das Gefäß eines Barometers; die längere Röhre ſowohl wie die kürzere

sind oben offen. Wenn man Quecksilber eingießt, so stellt es sich natürlich in beiden Röhren gleich hoch. Nun wird die zu untersuchende Flüssigkeit in das weitere Gefäß auf das Quecksilber gebracht, dann einige Zeit lang im Kochen erhalten und zugeschmolzen, wenn alle Luft ausgetrieben ist. Bringt man das Gefäß in eine Flüssigkeit, deren Temperatur höher ist als der Siedepunkt der eingeschlossenen Flüssigkeit, so bilden sich Dämpfe, welche auf das Quecksilber im Gefäße drücken und es in der längeren Röhre steigen machen. Die Differenz der Quecksilberspiegel im Gefäße und der Röhre giebt an, wie viel die Spannkraft der Dämpfe größer ist als ein Atmosphärendruck.

Um die Röhre vor dem Zerbrechen zu schützen und um zugleich die Höhe der gehobenen Quecksilbersäule messen zu können, ist der Apparat auf einem getheilten Brette befestigt. Wenn die Röhre lang genug ist, kann man mit dieser Vorrichtung die Tension der Wasserdämpfe bis zu 3 und 4 Atmosphären messen.

Um stärkere Spannkräfte zu messen, braucht man nur die Steigröhre zuzuschmelzen, so daß in ihr ein bestimmtes Luftquantum abgesperrt ist. Wenn die Dämpfe im Gefäße das Quecksilber in die Röhre treiben, so wird die abgesperrte Luft comprimirt, und man kann leicht aus der Höhendifferenz der beiden Quecksilberspiegel die Spannkraft des Dampfes berechnen.

Die folgenden Tabellen enthalten das Maximum der Spannkraft der Wasserdämpfe für verschiedene Temperaturen:

Grade.	Spannkraft des Wasserdampfes in Millimetern.	Druck auf 1 Quadratcentimeter in Kilogrammen.	Druck auf 1 Quadratzoll preuß. in Pfunden.
0	5	0,007	0,101
10	9	0,013	0,189
20	17	0,023	0,344
30	30	0,042	0,611
40	53	0,072	1,053
50	89	0,126	1,763
60	145	0,196	2,874
70	229	0,311	4,552
80	352	0,478	6,996
90	525	0,714	10,437
100	760	1,033	15,101

Spannkraft in Atmoſphären.	Entſprechende Temperaturen.	Druck auf 1 Quadratcentimeter in Kilogrammen.	Druck auf 1 Quadratzoll preuß. in Pfunden.
1	100	1,03	15,1
2	121	2,07	30,2
4	145	4,83	60,4
6	160	6,20	90,6
8	172	8,26	120,9
10	182	10,33	151,1
15	200	15,49	226,6
20	215	20,66	302,2
25	226	25,82	377,7
30	236	30,99	453,2

Um die Beziehungen zwiſchen der Temperatur und der entſprechenden Spannkraft des geſättigten Waſſerdampfes auszudrücken, ſind eine große Zahl empiriſcher Formeln aufgeſtellt worden, von welchen die folgende

$$log.\ e = 5{,}58188\ log.\ [1 + 0{,}0062108\ (t - 100)],$$

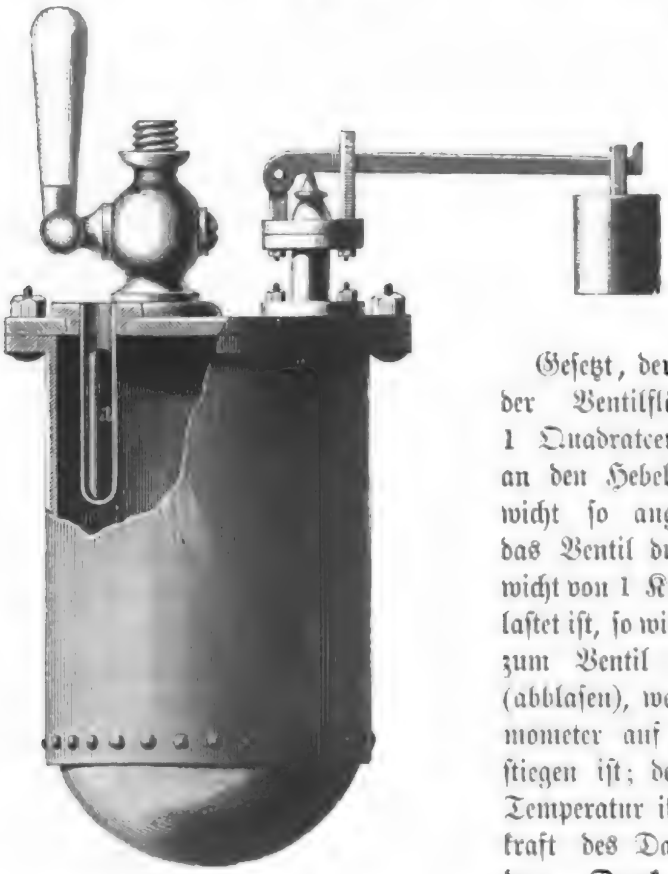
in welcher e die in Atmoſphären ausgedrückte Spannkraft, t die Temperatur nach Centeſimalgraden bezeichnet, eine der einfachſten iſt und ſich auch ziemlich gut den Beobachtungen anſchließt.

Die Spannkraft des Dampfes wächſt, wie man ſieht, in einem weit raſcheren Verhältniſſe als die Temperatur, d. h. bei höheren Temperaturen bringt eine beſtimmte Temperaturerhöhung eine weit größere Vermehrung der Spannkraft hervor als bei niedrigen; während eine Temperaturerhöhung von 100 bis 121°, alſo um 21°, die Spannkraft des Waſſerdampfes um 1 Atmoſphäre vermehrt, wächſt ſie bei einer Temperaturerhöhung von 226 bis 236°, alſo bei einer Temperaturerhöhung von nur 10 Graden, ſchon um 5 Atmoſphären, zwiſchen 226 und 236° reicht alſo ungefähr eine Temperaturerhöhung von 2° ſchon hin, um die Spannkraft des Waſſerdampfes um 1 Atmoſphäre zu ſteigern.

Wie mit ſteigender Temperatur die Spannkraft der Dämpfe wächſt, läßt ſich auch mit Hülfe eines kleinen Dampfkeſſels, des papinianiſchen Topfes, Fig. 512, zeigen. In dem feſt aufgeſchraubten Deckel befinden ſich drei Oeffnungen; auf der einen iſt ein Sicherheitsventil von der bereits auf Seite 115 betrachteten Einrichtung angebracht; in die zweite Oeffnung iſt ein in den Keſſel hineinragendes Röhrchen a von Eiſenblech aufgeſchraubt, welches zum Theil mit Queckſilber gefüllt wird. Auf der dritten Oeffnung endlich ſitzt ein kurzes Rohr, welches durch einen Hahn verſchloſſen werden kann und auf welches man verſchiedene Ausſtrömungsöffnungen aufſchrauben kann.

Wird der bis zu $^2/_3$ ſeiner Höhe mit Waſſer gefüllte Keſſel genügend erhitzt, ſo kommt das Waſſer nach einiger Zeit ins Kochen, wenn der Hahn geöffnet iſt; ein in das Queckſilber des Rohres *a* eingetauchtes Thermometer zeigt conſtant die Temperatur des Siedepunktes. Sobald man aber den Hahn ſchließt, alſo das Abziehen der Dämpfe hindert, ſteigt ſogleich das Thermometer, und die Spannkraft der Dämpfe im Keſſel wächſt, bis ſie endlich groß genug iſt, um das Sicherheitsventil zu heben und hier einen Ausweg zu erzwingen.

Fig. 512.



Geſetzt, der Querſchnitt der Ventilfläche betrage 1 Quadratcentimeter und an den Hebel ſei ein Gewicht ſo angehängt, daß das Ventil durch ein Gewicht von 1 Kilogramm belaſtet iſt, ſo wird der Dampf zum Ventil herausblaſen (abblaſen), wenn das Thermometer auf 121° C. geſtiegen iſt; denn bei dieſer Temperatur iſt die Spannkraft des Dampfes gleich dem Druck von zwei Atmoſphären, und dies iſt der Druck, welcher, den Luftdruck ſelbſt mitgerechnet, auf dem Ventile laſtet.

Die Zunahme der Spannkraft bei wachſender Temperatur hat zwei Urſachen. Denken wir uns irgend einen abgeſperrten Raum mit Waſſerdampf von 100°, alſo mit geſättigtem Dampf von 1 Atmoſphäre Spannkraft erfüllt; in dieſem Raume ſei ganz und gar kein Waſſer mehr vorhanden, er ſei ganz vom Waſſer abgeſperrt. Wird nun die Temperatur dieſes Raumes auf 121° erhöht, ſo ſtrebt der in ihm enthaltene Dampf allerdings, ſich auszudehnen, und weil er ſich nicht ausdehnen kann, wird ſeine Spannkraft wachſen, aber nicht viel; der Dampf iſt nun nicht mehr geſättigt, er verhält ſich ganz wie ein Gas. Wenn ſich aber noch Waſſer in dieſem Raume befindet, ſo wird

sich in Folge der Temperaturerhöhung eine neue Quantität Dampf bilden; die Zunahme der Spannkraft um 1 Atmosphäre rührt also vorzugsweise daher, daß der Dampf dichter wird und in Folge seiner größeren Dichtigkeit einen größeren Druck ausübt.

1 Cubikdecimeter (Liter) Wasser liefert:

1700	Liter	gesättigten	Dampf	von	100° C.	und	1	Atm. Spannkraft
897	„	„	„	„	121	„	2	„ „
475	„	„	„	„	145	„	4	„ „
207	„	„	„	„	182	„	10	„ „

Man sieht aus den obigen Tabellen, daß für die Temperatur des Siedepunktes die Spannkraft des Wasserdampfes dem Drucke der Atmosphäre das Gleichgewicht hält; dies ist ganz allgemein wahr; die Spannkraft des Dampfes, welcher sich aus irgend einer kochenden Flüssigkeit bildet, ist immer dem Drucke gleich, welcher auf den Dampfblasen lastet; denn wenn sie geringer wäre, so könnte der Dampf nicht in Gestalt von Blasen im Inneren der Flüssigkeit bestehen; und wenn sie stärker wäre, so müßte sich der Dampf schon früher gebildet haben. Für den Siedepunkt haben die Dämpfe aller Flüssigkeiten gleiche Spannkraft. Dalton glaubte, daß in gleichem Temperaturabstande von ihrem Siedepunkte die Spannkräfte der Dämpfe aller Flüssigkeiten gleich seien. Nach dem Dalton'schen Gesetze wäre es also nur nöthig, die Tafel für die Spannkraft des gesättigten Wasserdampfes zu haben und den Siedepunkt einer Flüssigkeit zu kennen, um die Spannkraft ihrer Dämpfe für alle Temperaturen zu ermitteln. Der Siedepunkt des Alkohols z. B. ist 78°; die Spannkraft des Alkoholdampfes bei 99°, also 21° über dem Siedepunkte, müßte der Spannkraft des Wasserdampfes bei 121° gleich sein, welche 2 Atmosphären ist. Nach diesem Gesetze wäre die Spannkraft des gesättigten Alkoholdampfes bei 0° gleich 19 Millimeter, weil dies die Spannkraft des Wasserdampfes bei einer Temperatur ist, welche 78° unter dem Siedepunkte des Wassers liegt. Aus den Versuchen mehrerer Physiker geht jedoch hervor, daß dieses Gesetz nicht genau ist.

Es giebt Flüssigkeiten, deren Siedepunkt unter der mittleren Lufttemperatur liegt; solche Körper können natürlich unter gewöhnlichen Umständen nicht tropfbar flüssig sein, sie sind bei der gewöhnlichen Lufttemperatur unter dem gewöhnlichen Luftdrucke nur gasförmig; man muß solche Gase comprimiren und erkalten, um sie tropfbar flüssig zu machen. So siedet z. B. die schweflige Säure bei — 10°; in einer Glasröhre eingeschmolzen, üben ihre Dämpfe bei 25° schon einen Druck von ungefähr 5 Atmosphären aus.

Cyangas, Ammoniak, Kohlensäure u. s. w. lassen sich ebenfalls durch Compressionen und Erkaltung zu Flüssigkeiten verdichten. Der Dampf der flüssigen Kohlensäure hat bei 0° schon eine Spannkraft von 36, bei 30° schon eine Spannkraft von 73 Atmosphären.

253 **Der Dampfkessel.** Wo es sich darum handelt, Wasserdampf in größerer Menge zu erzeugen, sei es zum Betriebe von Dampfmaschinen, zur Dampf-

heizung u. ſ. w., wendet man eigens conſtruirte Dampfkeſſel an, deren Größe, Geſtalt, Heizvorrichtung u. ſ. w., je nach den ſpeciellen Zwecken, die mannigfaltigſten Abänderungen erleiden. Wie übrigens auch der Dampfkeſſel ſonſt eingerichtet ſein mag, ſo ſind folgende Beſtandtheile durchaus nothwendig:

1) Das Dampfleitungsrohr, welches den Dampf aus dem oberen Theile des Dampfkeſſels dem Orte zuführt, wo er zur Verwendung kommen ſoll.

2) Das Speiſerohr, durch welches (meiſt mittelſt einer Druckpumpe) dem Keſſel wieder Waſſer zugeführt werden kann, um das zu erſetzen, was durch Verdampfung conſumirt wird.

3) Das Mannloch, eine durch eine aufgeſchraubte Metallplatte verſchloſſene Oeffnung, welche groß genug iſt, daß ein Mann durch ſie in den Keſſel einſteigen kann, wenn derſelbe einer Reinigung bedarf.

4) Ein Sicherheitsventil.

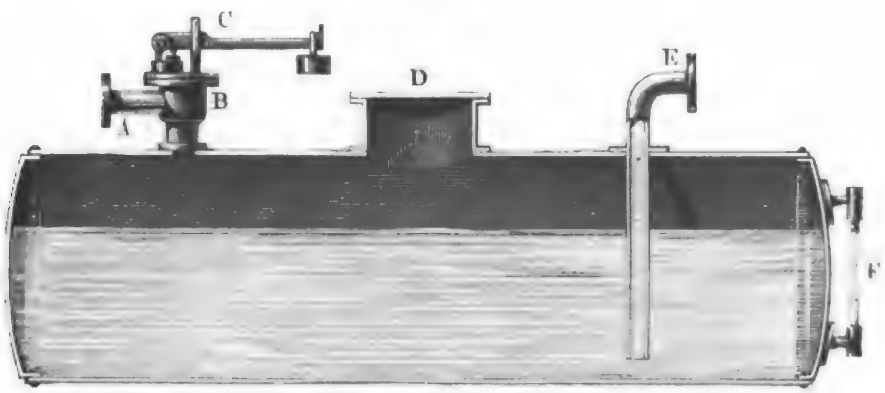
5) Ein Waſſerſtandszeiger, d. h. irgend eine Vorrichtung, durch welche man erſehen kann, wie hoch das Waſſer im Keſſel ſteht, um danach den Waſſerzufluß reguliren zu können.

Fig. 513 ſtellt einen möglichſt einfachen Dampfkeſſel mit den ſoeben als weſentlich bezeichneten Theilen dar. Es iſt

A das Dampfrohr,
E das Speiſerohr,
C das Sicherheitsventil,
D das Mannloch,
F der Waſſerſtandszeiger,

hier ein Glasrohr, welches durch horizontale Meſſingröhrchen mit dem oberen und dem unteren Theile des Dampfkeſſels in Verbindung ſteht, ſo daß das Waſſer im Glasrohre ſich ſtets in gleiche Höhe mit dem Waſſer im Keſſel ſtellen muß. Statt eines ſolchen Rohres werden auch andere Vorrichtungen zum gleichen Zwecke angewandt.

Fig. 513.



Die Keſſelwände müſſen natürlich um ſo ſtärker gemacht werden, je größer der Durchmeſſer des Keſſels und je größer die Spannkraft der Dämpfe iſt,

welche er einschließt. In den meisten Staaten sind, um Unglück zu verhüten, die Anlagen von Dampfkesseln an gesetzliche Bestimmungen geknüpft und namentlich ist das Verhältniß der Dicke der Kesselwände zu dem Durchmesser des Kessels und der Spannkraft der Dämpfe normirt. Nach dem französischen Gesetz z. B. soll für einen Kessel von 0,5 Meter Durchmesser das Eisen- oder Kupferblech, aus welchem derselbe gemacht ist,

3,9 5,7 9,3 Millimeter dick sein

für eine Spannkraft von

2 4 8 Atmosphären.

Für einen Kessel von 1 Meter Durchmesser sind aber Folgendes die zusammengehörigen Werthe der Spannkraft und der Blechdicke:

2 4 8 Atmosphären,

4,8 8,4 15,8 Millimeter.

Gußeiserne Dampfkessel sind meist verboten.

254 **Die Dampfmaschine.** Der Wasserdampf gehört zu den mächtigsten bewegenden Kräften, die uns zu Gebote stehen. Es unterliegt keinem Zweifel, daß der ungeheure Aufschwung, dessen sich die Industrie und der Verkehr in den neueren Zeiten zu erfreuen haben, zum großen Theil der Anwendung der Dampfkraft zu verdanken ist. Der Wasserdampf liefert uns eine Kraft, deren wir aufs Vollkommenste Meister sind, der wir jede beliebige Stärke geben können und die sich leicht überall erzeugen und anbringen läßt.

Schon seit 1788 wandte man in England die Dampfkraft zur Förderung der Grubenwasser in Bergwerken an; aber abgesehen davon, daß die dazu verwandten Maschinen Savary's und Newkomen's doch nur eine sehr beschränkte Anwendbarkeit haben, war ihr Betrieb auch sehr kostspielig. Erst Watt gelang es, die Construction der Dampfmaschine so zu vervollkommnen, daß eine allgemeine Benutzung der Dampfkraft möglich wurde, und dadurch wurde Watt der Gründer einer neuen Aera für die Industrie. Der Bau der Dampfmaschine machte in kurzer Zeit ungeheure Fortschritte. Die Dampfmaschine ist in der That eine Mustermaschine geworden, an welcher die praktische Mechanik eine tüchtige Schule durchgemacht hat.

Wir wollen die Dampfmaschine zunächst in ihrer einfachsten Form kennen lernen. Fig. 514 stellt eine Hochdruckdampfmaschine im Durchschnitt, Fig. 515 (a. S. 470) stellt von derselben Maschine eine vordere Ansicht dar. Durch das Rohr z gelangt der Dampf aus dem Dampfkessel zunächst in den Dampfraum K, von welchem aus zwei Canäle zum Cylinder A führen; der eine mündet am oberen Ende des Cylinders bei e, der andere am unteren Ende bei d. Durch den Vertheilungsschieber, den wir alsbald näher betrachten wollen, wird bewirkt, daß der Dampf abwechselnd unten und dann wieder oben in den Cylinder einströmt und den Kolben C abwechselnd auf und nieder treibt.

Die Kolbenstange bewegt sich luft- und dampfdicht durch eine Stopfbüchse, welche sich in der Mitte des oberen Cylinderdeckels befindet.

An der Kolbenstange ist zunächst die Pleuelstange (Treibstange) P be-

Fig. 514.

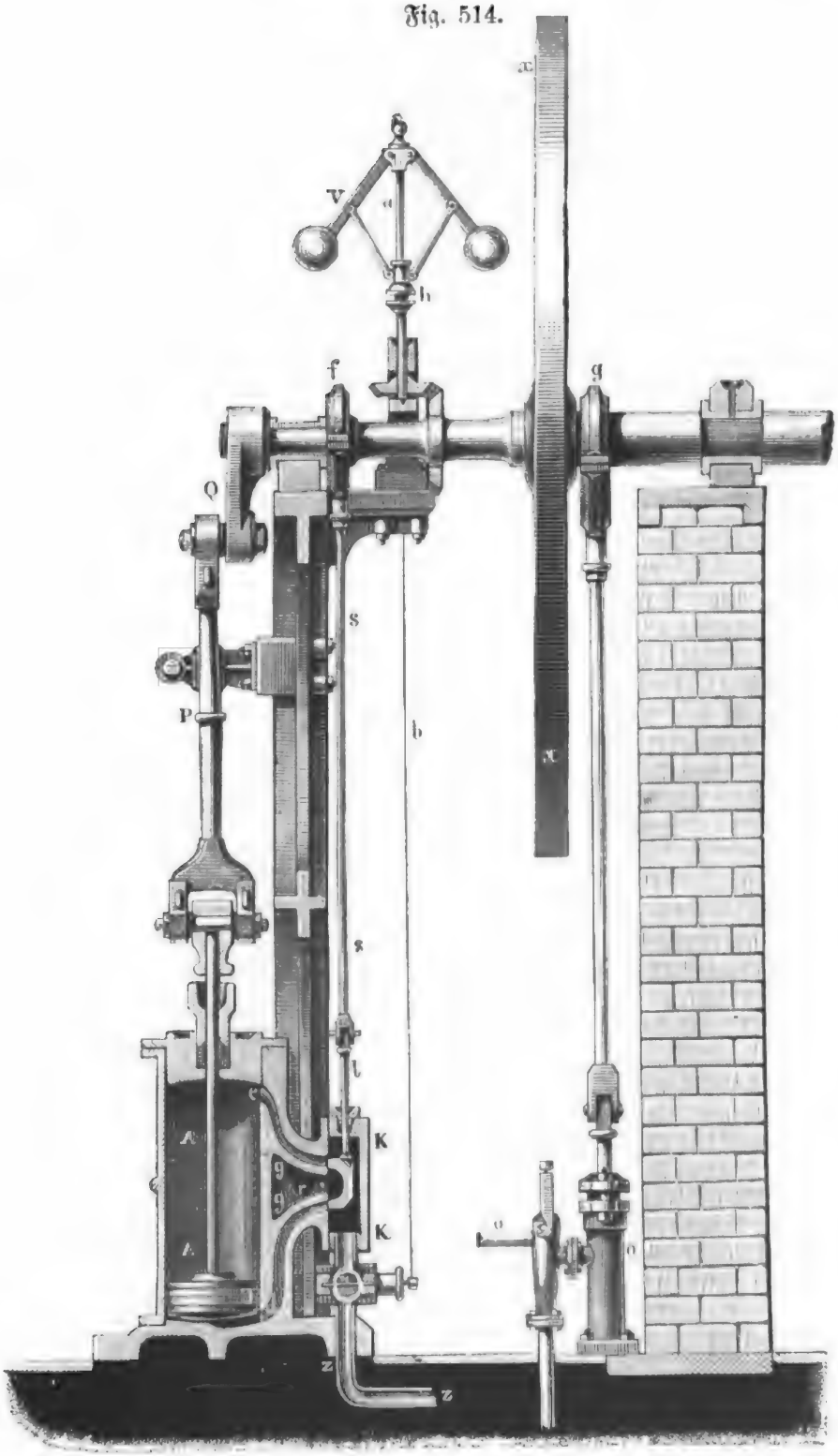
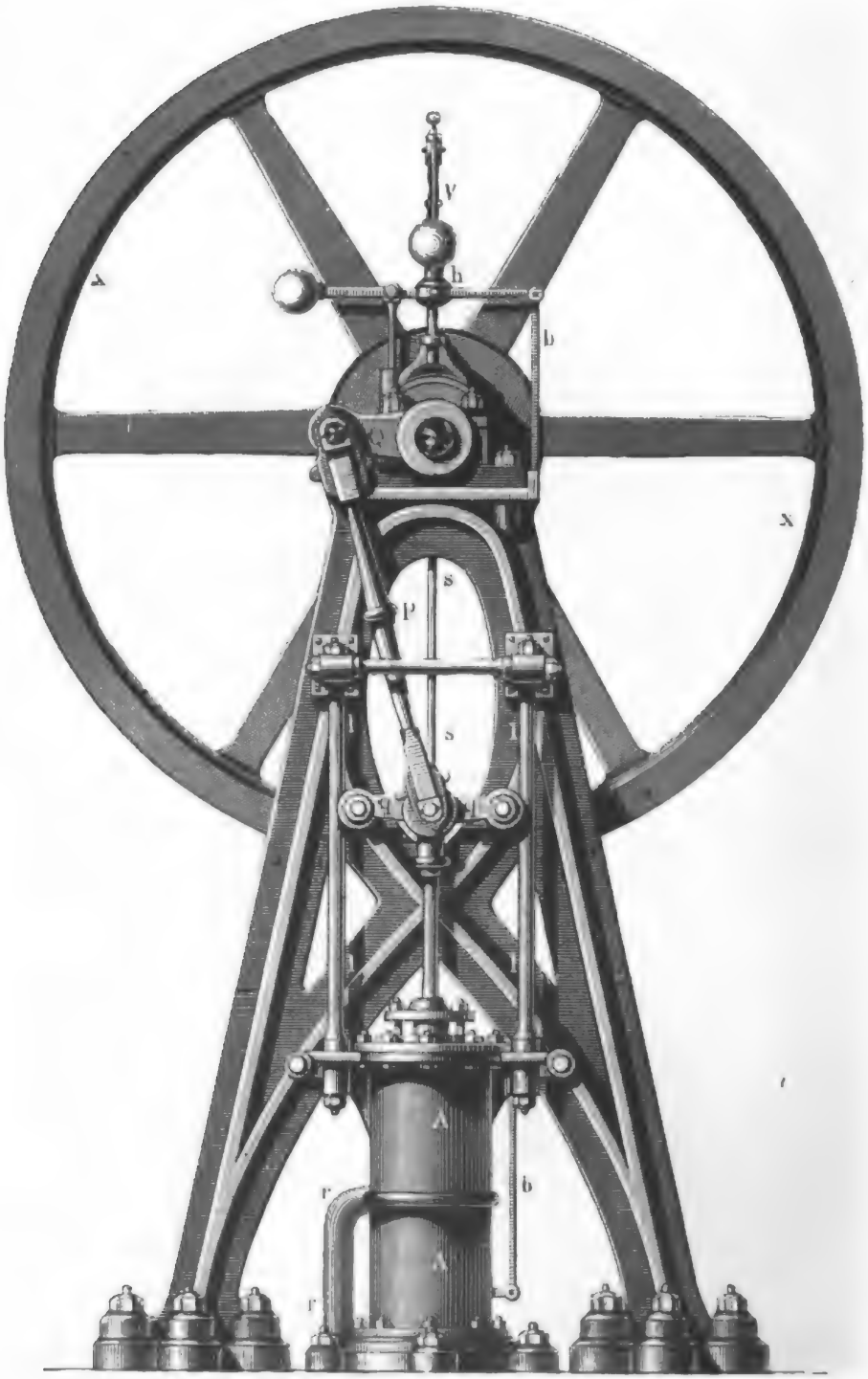


Fig. 515.



festigt, welche durch Vermittlung der Kurbel *Q* die alternirende Bewegung des Kolbens in eine gleichförmige Rotationsbewegung verwandelt. Die Axe der Kurbel *Q* ist die Hauptaxe der Maschine, welche in Bewegung gesetzt werden soll; an dieser Axe ist auch das Schwungrad *X* befestigt, welches dazu dient, kleinere Ungleichheiten im Gange der Maschine auszugleichen.

Um den verticalen Gang der Kolbenstange zu sichern, ist am oberen Ende derselben ein Querstück *q* angebracht, welches durch die zu beiden Seiten stehenden eisernen Säulen *l* geführt wird.

Die Bewegung des Kolbens *C* ist begreiflicherweise nicht gleichförmig, da derselbe am oberen und unteren Ende seiner Bahn momentan zur Ruhe kommt, um dann die Richtung seiner Bewegung umzukehren. Seine Geschwindigkeit ist am größten, wenn er eben die Mitte des Cylinders passirt; sie nimmt um so mehr ab, je mehr er sich dem oberen oder unteren Ende des Cylinders nähert. Betrachten wir nun die Bewegung der Kurbel, so finden wir, daß bei gleichförmiger Umdrehungsgeschwindigkeit ihre Bewegung im verticalen Sinne dennoch sehr veränderlich ist. Der Kurbelarm steht wagerecht, wenn der Kolben *C* sich in der Mitte des Cylinders befindet, in diesem Momente hat die Bewegung der Kurbel eine verticale Richtung; wenn aber der Kolben *C* seine höchste oder tiefste Stellung hat, so bewegt sich die Kurbel in horizontaler Richtung. Der verticale Antheil der Kurbelbewegung ist der Bewegung des Kolbens ganz gleich; in dem Maße, in welchem die Kurbelbewegung mehr horizontal wird, nimmt die Geschwindigkeit des Kolbens ab, ohne daß dadurch eine Verminderung in der Umdrehungsgeschwindigkeit der Kurbel erfolgte.

Der Durchmesser der Kurbelbahn ist begreiflicherweise der Höhe des Cylinders, die Dicke des Kolbens abgerechnet, gleich; die Länge des Kurbelarms ist demnach der halben Hubhöhe des Kolbens gleich.

Das Schwungrad *X* dient dazu, die Bewegung der Maschine gleichförmig zu erhalten. Wenn auch der Druck des Dampfes auf den Kolben ganz unveränderlich wäre, so würde er doch nicht bei allen Stellungen der Kurbel gleichviel zu deren Umdrehung beitragen können. In der That kann man den Druck, welcher durch die Treibstange *P* auf die Kurbel wirkt, in zwei zu einander rechtwinklige Kräfte zerlegt denken; die eine, in der Richtung der Kurbel selbst als Druck auf die Axe wirkend, trägt nichts zur Umdrehung bei, welche ganz allein durch die andere, tangential zur Kurbelbahn wirkende Seitenkraft hervorgebracht wird. Die Größe dieser beiden Kräfte ändert sich aber in jedem Momente. Wenn der Kurbelarm vertical steht, wirkt jeder Druck, welcher vom Kolben ausgeht, einzig und allein als Druck auf die Kurbelaxe. Wenn in dieser Stellung die Maschine stillstände, so würde der größte Druck auf den Kolben sie nicht in Bewegung setzen können; daß also die Maschine, indem sie in diese Stellung kommt, nicht absolut stillstehen bleibt, rührt einzig und allein daher, daß die einzelnen Maschinentheile vermöge ihrer Trägheit ihre Bewegung fortsetzen, gerade so wie ein Pendel, wenn es in der Ruhelage ankommt, doch vermöge seiner Trägheit die Bewegung fortsetzt.

Ueberhaupt wird der Lauf der Maschine eine Beschleunigung erfahren,

während der Kolben sich in der Nähe der Mitte des Cylinders bewegt: dagegen tritt eine Verzögerung im Laufe der Maschine ein, wenn sich der Kolben nahe am oberen oder unteren Ende des Cylinders befindet; diese Ungleichförmigkeiten werden aber durch das Schwungrad um so mehr ausgeglichen, je größer die Masse und der Halbmesser desselben ist.

Betrachten wir nun die Steuerung der Maschine, d. h. die Vorrichtung, durch welche bewirkt wird, daß der aus dem Kessel kommende Dampf, welcher bei diesen Maschinen eine Spannkraft von 4 bis 6 Atmosphären erreicht, abwechselnd unten und dann wieder oben in den Cylinder eintritt. In der dem Cylinder zugekehrten Wand des Dampfraumes K befinden sich drei Oeffnungen, von denen die eine mit dem oberen, die andere mit dem unteren Theile des Cylinders in Verbindung steht, während die mittlere zu einer Höhlung g, Fig. 514, führt, aus welcher der verbrauchte Dampf durch das Rohr r in die freie Luft gelangt. Vor diesen Oeffnungen bewegt sich nun der Vertheilungsschieber, dessen Einrichtung aus Fig. 516 näher zu ersehen ist. In der Stellung, wie sie Fig. 514 zeigt, sind beide Canäle durch den Schieber verschlossen, es strömt gar kein Dampf in den Cylinder, denn es ist ja dies der Moment, in welchem der Kolben gerade seine tiefste Stellung hat, in welchem die Maschine im sogenannten todten Punkte angelangt ist. In dem Maße aber, als der Kolben steigt, wird auch der Schieber gehoben; er erreicht seine höchste Stellung, wenn der Kolben gerade die Mitte des Cylinders erreicht, also seine größte Geschwindigkeit hat. In diesem Momente ist die untere Oeffnung ganz frei, Fig. 517, so daß der Dampf mit voller Kraft in den unteren Theil des Cylinders einströmen kann, während der verbrauchte Dampf aus dem oberen Theil des Cylinders durch den Canal c und die Höhlung des Schiebers nach g gelangt und von da durch r (in Fig. 517 und 518 steht a an der Stelle von r) entweicht.

Fig. 516.

Fig. 517.

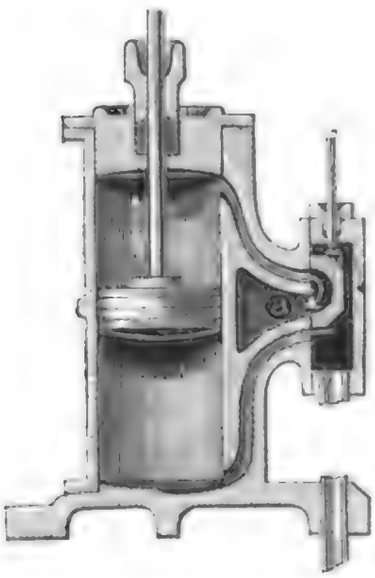
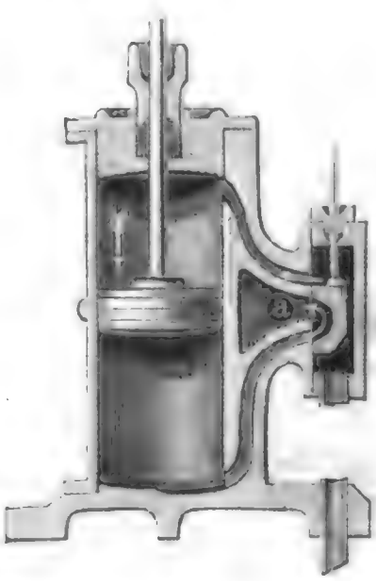


Fig. 518

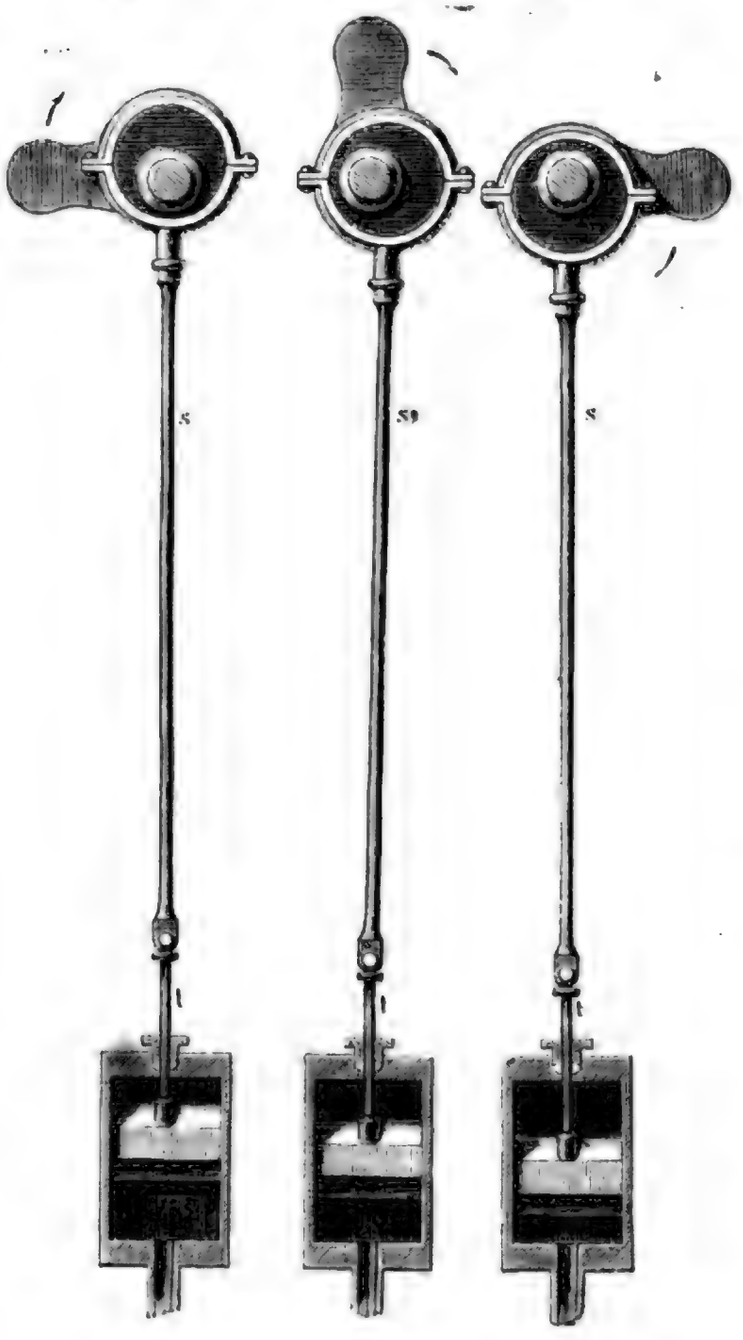


Nähert sich der Kolben mit abnehmender Geschwindigkeit dem oberen Ende

des Cylinders, so geht der Schieber allmälig wieder nieder, um alle Oeffnungen in dem Augenblicke zu schließen, in welchem der Kolben das oberste Ende seiner Bahn erreicht. Während darauf der Kolben wieder niedergeht, fährt auch die niedergehende Bewegung des Schiebers noch fort, bis der Kolben wieder in der Mitte des Cylinders angekommen ist, wo dann die obere Oeffnung ganz frei ist, Fig. 518, und der Dampf aus der unteren Hälfte des Cylinders durch die Höhlung des Schiebers entweicht.

Die eben betrachtete Bewegung des Vertheilungsschiebers muß natürlich durch die Maschine selbst bewerkstelligt werden, und zwar geschieht dies durch die excentrische Scheibe *f*, die wir in Fig. 514 von der Seite sehen. Fig. 519, 520 und 521 zeigen dieselbe von vorn gesehen in drei Hauptstellungen.

Fig. 519. Fig. 520. Fig. 521.



Die excentrische Scheibe ist eine kreisförmige Scheibe, die an der Hauptaxe der Maschine befestigt ist, deren Mittelpunkt aber nicht mit dem Mittelpunkte der Axe zusammenfällt, so daß bei jeder Umdrehung der Axe der Mittelpunkt der excentrischen Scheibe einen kleinen Kreis zu beschreiben hat, dessen Durchmesser der Bahn gleich ist, welche der Schieber bei seiner auf- und niedergehenden Bewegung zurücklegt.

Um den Umfang dieser Scheibe ist ein Ring gelegt, an welchem die Stange *s* befestigt ist; an der Stange *s* hängt nun wieder mittelst eines Gelenkes die Schieberstange *t*, und so ist klar, daß der Schieber aufwärts gezogen wird, während der Mittelpunkt der excentrischen Scheibe durch die Umdrehung der Axe aus seiner tiefsten in seine höchste Stellung gelangt, daß umgekehrt der Schieber niedergedrückt wird,

während der Mittelpunkt der excentrischen Scheibe auf der anderen Hälfte seiner Bahn niedergeht.

Da der Dampf unten voll einströmen muß, wenn der Kolben in aufgehender Bewegung die Mitte des Cylinders passirt, so muß der Mittelpunkt der excentrischen Scheibe seinen höchsten Stand einnehmen, wenn der Kurbelarm eben wagerecht steht, Fig. 519. Gelangt der Kurbelarm in seine höchste Stellung, so daß er vertical nach oben gerichtet ist, so steht jetzt der Mittelpunkt der excentrischen Scheibe in gleicher Höhe mit dem Mittelpunkte der Axe, der Schieber befindet sich gerade in der Mitte seiner Bahn und verschließt alle Oeffnungen, Fig. 520. Wenn der Kolben, nach unten gehend, die Mitte des Cylinders passirt, so steht die Kurbel wieder wagerecht und die excentrische Scheibe nimmt ihre tiefste Stellung ein, damit der Dampf frei durch die obere Oeffnung einströmen könne, Fig. 521.

Um die Maschine im Gange zu halten, muß im Kessel fortwährend Wasser verdampft werden; es ist also klar, daß in gleichem Maße dem Kessel wieder frisches Wasser zugeführt werden muß, wenn der Gang der Maschine keine Störungen erleiden soll. Dies geschieht nun durch die Druckpumpe *o*, Fig. 514, deren Kolben durch die excentrische Scheibe *g* bewegt wird. Die innere Einrichtung einer solchen Druckpumpe *o* haben wir bereits oben S. 100 kennen gelernt.

Wenn die zu verrichtende Arbeit, der zu überwindende Widerstand im Allgemeinen ab- oder zunimmt, so ist die Folge davon, daß der Gang der Maschine schneller oder langsamer wird. Momentane kurz dauernde Störungen der Art werden schon durch das Schwungrad ausgeglichen; eine allgemeine Verminderung des Widerstandes und der Last aber würde bei unverändertem Zuflusse des Dampfes eine immer zunehmende Beschleunigung des Ganges der Maschine zur Folge haben. Damit nun die Geschwindigkeit nicht über eine gewisse Gränze wachsen kann, muß im Dampfzuflußrohre eine Klappe, Drosselventil, angebracht sein, durch deren Drehung dem Dampfe der Weg mehr oder weniger versperrt wird, je nachdem sie mehr und mehr aus der verticalen Lage (der vollkommenen Oeffnung) in die horizontale (den vollkommenen Verschluß) übergeht. Die Drehung dieser Klappe muß aber durch die Maschine selbst besorgt werden, und dies geschieht durch eine Vorrichtung, welche den Namen Regulator führt.

Die Bewegung der Hauptaxe wird durch Winkelräder auf eine verticale Axe *a*, Fig. 514, übertragen, welche das conische Pendel *V* trägt; es besteht dies aus zwei schweren Kugeln, die an das obere Ende der Stange *a* so angehängt sind, daß sie vermöge ihrer Centrifugalkraft auseinanderfahren, wenn die Axe *a* rasch umgedreht wird; sobald dies aber geschieht, wird die Hülse *h* gehoben und dadurch die Stange *b* in die Höhe gezogen (in Fig. 514 ist dieselbe nur durch eine Linie angedeutet), dadurch aber wird das Drosselventil *n* um seine Axe gedreht und also der Zufluß des Dampfes um so mehr gehemmt, je rascher die Maschine läuft.

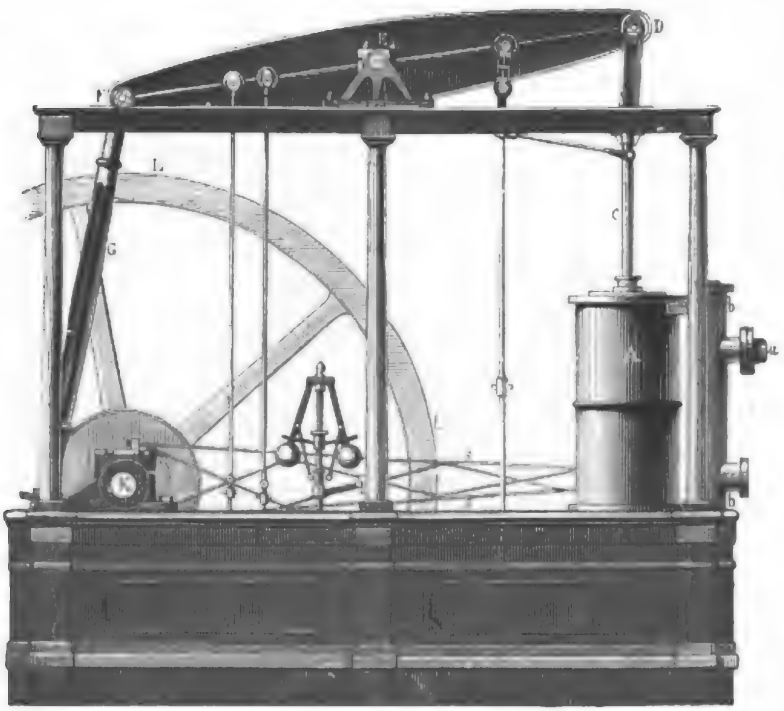
255 **Niederdruckmaschinen.** Bei den eben besprochenen Maschinen ist die eine Seite des Cylinders mit der atmosphärischen Luft in Verbindung, so daß

auf dieſer Seite des Kolbens der Druck der Atmoſphäre laſtet, während auf der anderen Seite der Druck des Dampfes wirkt; es iſt klar, daß hier der Dampfdruck ein bedeutender ſein muß, da ja ein Theil deſſelben noch zur Ueberwindung des Luftdrucks verwandt wird und nur der Reſt der Bewegung zu gut kommt. Solche Maſchinen heißen Hochdruckmaſchinen, weil in ihnen Dampf von hoher Spannung in Anwendung kommt.

Soll nun aber die Maſchine ſchon durch Dampf von geringer Spannkraft (von niederem Druck) getrieben werden, ſo muß man auf der anderen Seite des Kolbens nicht die atmoſphäriſche Luft drücken laſſen, ſondern einen verdünnten Raum erzeugen, was dadurch geſchieht, daß man die verbrauchten Dämpfe nicht in die freie Luft ausſtrömen läßt, ſondern daß man ſie zu einem Behälter hinleitet, in welchem ſie durch Einſpritzen von kaltem Waſſer verdichtet werden. Dieſer Verdichtungsraum heißt der Condenſator, und Dampfmaſchinen, welche, mit einem Condenſator verſehen, durch Dämpfe von geringer Spannkraft getrieben werden können, heißen Niederdruckmaſchinen.

Watt's Maſchinen waren Niederdruckmaſchinen. Fig. 522 ſtellt eine Totalanſicht, Fig 523 (a. f. S.) ſtellt den Durchſchnitt des unteren Theils der

Fig. 522.



Maſchine dar. Der Vertheilungsſchieber hat hier eine etwas andere Einrichtung als der früher betrachtete. Der verbrauchte Dampf ſtrömt durch den Canal *d*, Fig. 523, nach dem Condenſator *c*, in welchem die Verdichtung der Dämpfe durch fortwährend eingeſpritztes Waſſer bewirkt wird. Das durch Einſpritzen und durch

Verdichtung der Dämpfe im Condenſator ſich ſammelnde Waſſer wird durch eine beſondere Pumpe *h* fortgeſchafft, welche die Condenſatorpumpe oder auch die Luftpumpe heißt, weil ſie außer dem Waſſer auch die Luft fortſchafft, welche ſich im Keſſel beim Kochen des Waſſers entbindet und mit den Dämpfen durch die Maſchine geht.

Bei der Watt'ſchen Maſchine wird die Bewegung der Kolbenſtange zunächſt auf einen zweiarmigen Hebel, den Balancier *DF*, Fig. 522, übertra-

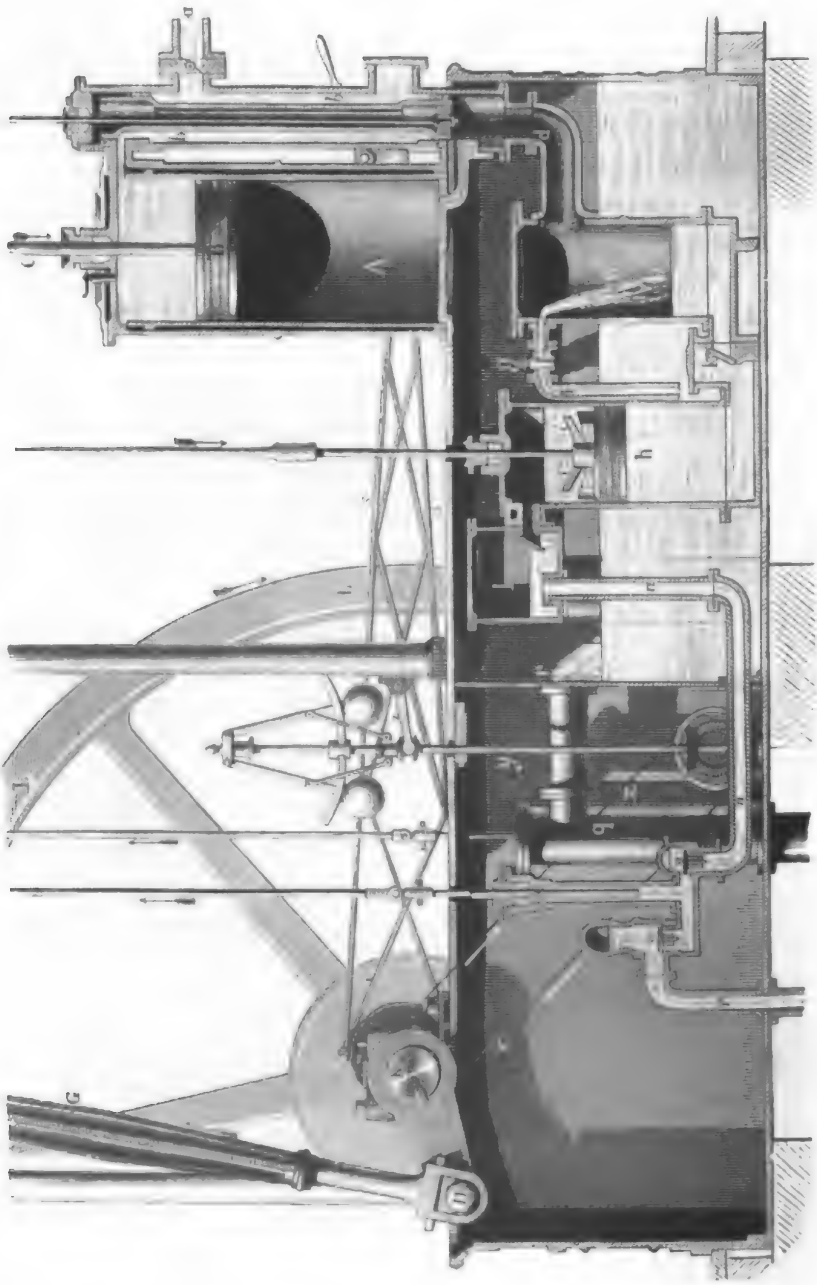


Fig. 523.

gen, an deſſen anderem Ende die Pleuelſtange G befeſtigt iſt, welche die Umdrehung der Kurbel bewirkt.

Auch hier geſchieht die Führung des Schiebers durch eine excentriſche Scheibe, und der Regulator dieſer Maſchine wirkt ganz in ähnlicher Weiſe, wie bei der Hochdruckmaſchine.

Die Locomotive. Fig. 524 zeigt die Anſicht einer Locomotive 256

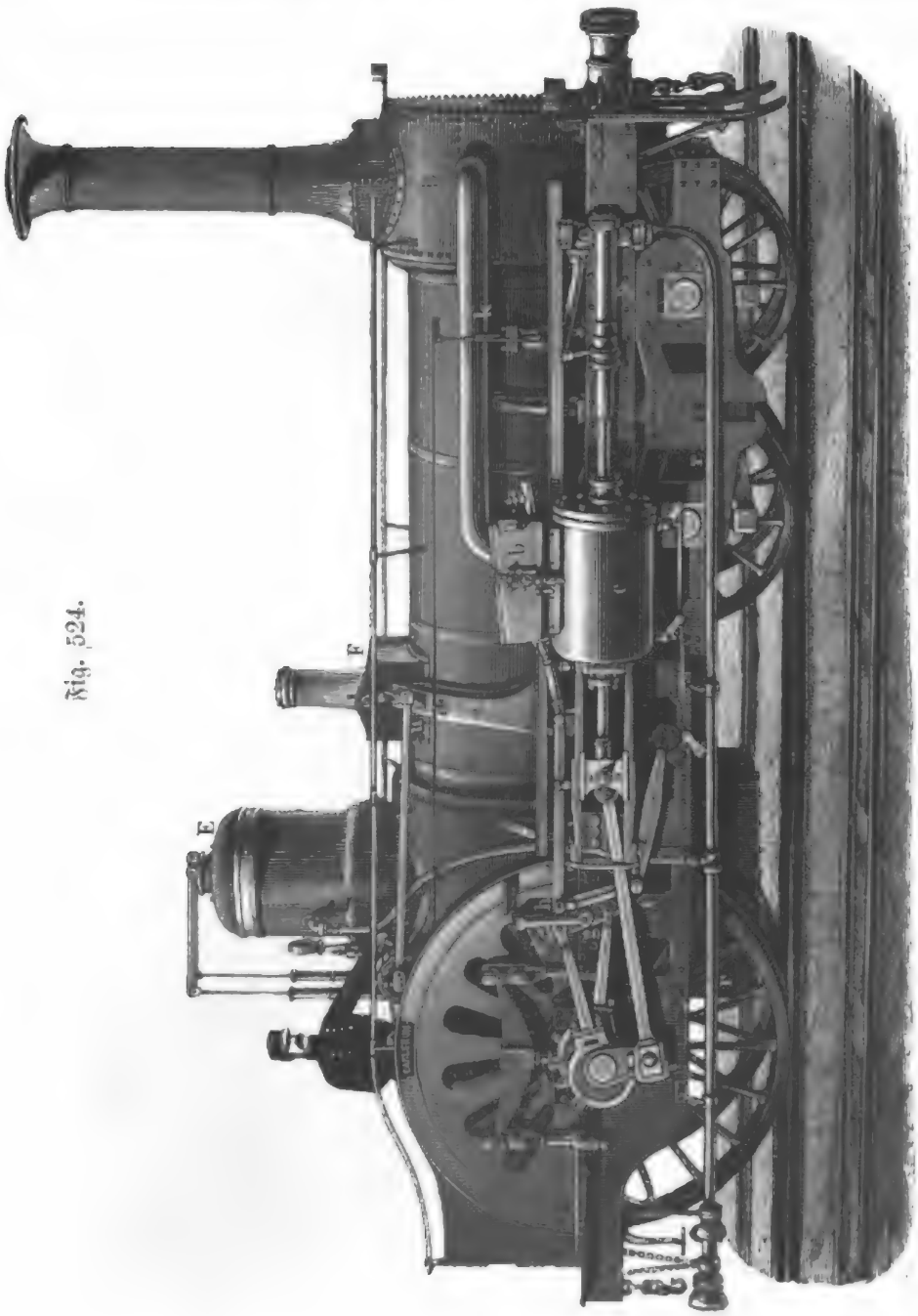


Fig. 524.

von eben so zweckmäßiger als auch übersichtlicher Construction. Die Hauptmasse der Locomotive bildet der cylindrische Dampfkessel, dessen Durchschnitt in Fig. 525 dargestellt ist und welcher später noch besprochen werden soll. Der vom Dampfkessel gelieferte Dampf gelangt durch ein Rohr, welches durch die kastenartige Verschalung *a*, Fig. 524, verdeckt wird, zu dem Dampfkasten *b*, auf dessen etwas gegen die Horizontale geneigtem Boden der Vertheilungsschieber liegt, welcher den Dampf bald auf die eine, bald auf die andere Seite des Dampfcylinders *c* führt. In diesem Cylinder wird dann ein Kolben bald nach der einen, bald nach der anderen Seite getrieben und die Bewegung desselben ganz in derselben Weise auf eine Kurbel übergetragen, wie wir sie bei der Dampfmaschine Fig. 515 kennen lernten, mit dem einzigen Unterschiede, daß hier der Cylinder horizontal liegt, daß sich der Kolben sammt der Kolbenstange in horizontaler Richtung hin und her bewegt, während bei der Maschine, Fig. 515, diese Bewegungen in verticaler Richtung vor sich gingen.

Man wird ohne Schwierigkeit in Fig. 524 die durch den linken Deckel des Cylinders *c* austretende Kolbenstange, die Pleuelstange und die Kurbel auffinden können. Die Axe dieser Kurbel bildet nun zugleich die Umdrehungsaxe der siebenfüßigen Treibräder, deren Umdrehung eben das Fortrollen der ganzen Locomotive bewirkt.

Die Führung des Vertheilungsschiebers wird auch hier durch eine excentrische Scheibe besorgt. Unsere Figur zeigt deren zwei, dicht hinter einander liegende, welche in ihrem Gange um 180° verschieden sind, so daß sie gleichzeitig in den entgegengesetzten extremen Stellungen ankommen. Die Stange der vorderen excentrischen Scheibe ist an dem oberen, die Stange der hinteren excentrischen Scheibe ist an dem unteren Ende des eisernen Bügels *d f* befestigt, welcher um seinen festen Mittelpunkt *g* in verticaler Ebene drehbar ist. Dieser Bügel wird demnach während des Ganges der Maschine in der Weise hin- und hergezogen, daß *d* seine äußerste Stellung links hat, wenn *f* am weitesten nach rechts steht (wie es eben unsere Figur zeigt), während nach einer halben Umdrehung der Kurbelaxe umgekehrt *d* in die äußerste Stellung rechts, *f* in die äußerste Stellung links kommt.

In diesen Bügel greift nun die Stange *h i* ein, an deren anderem Ende die Schieberstange befestigt ist. Bei der Stellung, welche unsere Figur zeigt, hat *d*, also auch die Stange *h i* und der Schieber, die äußerste Stellung links, der Dampf tritt also auf der rechten Seite in den Cylinder ein und der Kolben wird nach der linken getrieben, so daß sich also die Kurbel sammt dem Treibrade in der Richtung drehen muß, wie die Zeiger einer Uhr, was zur Folge hat, daß die Maschine vorwärts läuft.

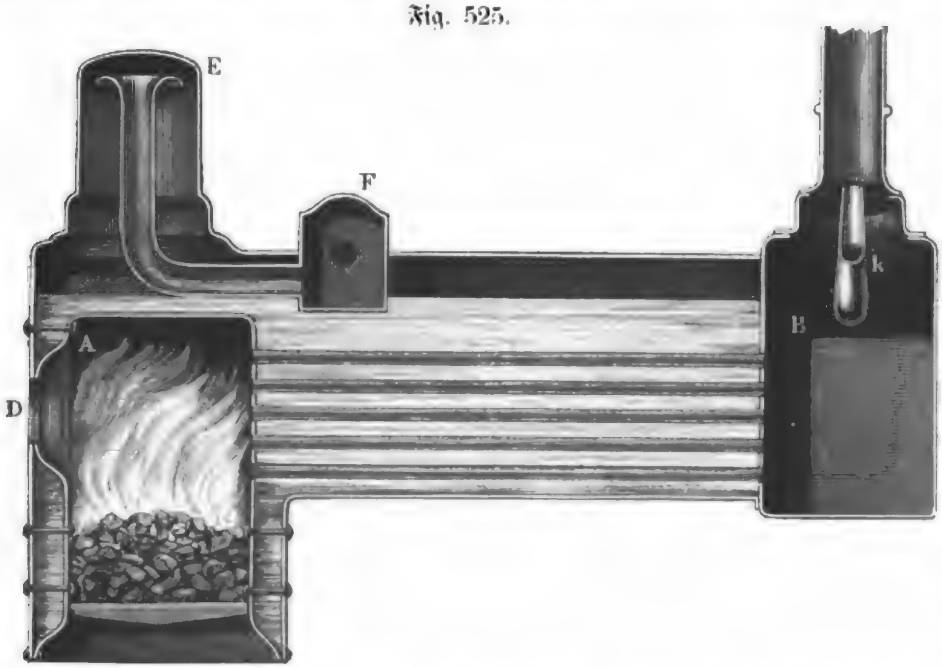
Um rückwärts zu fahren, wird das eine Ende *h* der Stange *h i* mittelst einer besonderen Hebelvorrichtung niedergedrückt, so daß *h* an das untere Ende des Bügels *d f* kommt; dadurch wird die Führung des Schiebers der hinteren excentrischen Scheibe übertragen, welcher die entgegengesetzte Umdrehung der Kurbel entspricht.

Der verbrauchte Dampf entweicht durch das Rohr *k*, Fig. 525, in den Schornstein.

An dem in dem Dampfcylinder c, Fig. 524, ſich hin und her bewegenden Kolben iſt auf der rechten Seite gleichfalls eine Kolbenſtange befeſtigt, welche durch eine Stopfbüchſe aus dem Cylinder austritt und an welcher unmittelbar ein etwas dickerer meſſingener Cylinder angeſetzt iſt, welcher als Kolben der Druckpumpe p arbeitet. Dieſe Druckpumpe ſaugt das Waſſer durch das Rohr r aus dem Tender und preßt es durch das kurze Rohr s in den Keſſel hinein, wodurch dann das durch die fortwährende Dampfbildung conſumirte Waſſer wieder erſetzt wird.

Fig. 525 zeigt einen Längendurchſchnitt des Locomotivkeſſels. Aus dem von allen Seiten mit Waſſer umgebenen Feuerraum A, in welchen das Brenn-

Fig. 525.



material durch die mit einer Thür verſchließbare Oeffnung D geworfen wird, führt eine große Anzahl kupferner Röhren die erhitzte Luft durch die ganze Länge des Keſſels hindurch in die Rauchkammer B, aus welcher ſie dann in den Schornſtein entweicht.

Die auf beiden Seiten der Rauchkammer B eintretenden Röhren k vereinigen ſich in der Mitte zu einer gemeinſchaftlichen Mündung, aus welcher der verbrauchte Dampf mit ſolcher Gewalt in den Schornſtein einſtrömt, daß dadurch ein Theil der Luft aus der Rauchkammer B mitgeriſſen wird, was ein lebhaftes Nachſtrömen der erhitzten Luft von A her durch die Röhren zur Folge hat und wodurch die lebhafte Verbrennung im Feuerraume eben ſo erhalten wird, als ob ein ungleich höherer Schornſtein auf die Rauchkammer aufgeſetzt wäre.

Der in dem Keſſel gebildete Dampf ſammelt ſich nun vorzugsweiſe in der Kuppel E, von wo er durch ein weites Rohr in das Käſtchen F geführt wird. Von F führt dann auf jeder Seite ein Rohr den Dampf weiter zur Maſchine. Die Mündung dieſer Röhre iſt durch einen Schieber verſchließbar, welchen der Führer mittelſt des Hebels $t\,u$, Fig 524, vor- und zurückſchieben kann, wodurch

Digitized by Google

dann überhaupt der Dampf zur Maschine zugelassen, oder, wenn die Maschine stillstehen soll, wieder abgesperrt wird.

257 **Berechnung des Effects der Dampfmaschinen.** Es bezeichne

p die in Atmosphären ausgedrückte Spannkraft des Dampfes im Cylinder, von welcher wir annehmen wollen, daß sie der Spannkraft des Dampfes im Kessel gleich sei,

Q den Querschnitt des Kolbens in Quadratdecimetern,

L die Länge des Kolbenhubes in Decimetern, so ist

der wirksame Druck des Dampfes im Cylinder gegen 1 Quadratdecimeter . . . $103{,}3\,p$ Kilogramm

der wirksame Druck gegen den ganzen Kolben . . . . . $103{,}3\,p\,Q$ Kilogramm

die Kraftquantität, welche bei einem Kolbenschlage entwickelt wird . . . . . $10{,}33\,p\,.\,Q\,.\,L$ Meterkilogramm.

(Meterkilogramm = Kilogrammometer, Seite 143).

Demnach ergiebt sich für die Kraftquantität E, welche bei n Kolbenschlägen entwickelt wird,

$$E = 10{,}33\,p\,.\,n\,.\,Q\,L \text{ Meterkilogramm} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Das vom Kolben beschriebene Volumen ist für 1 Kolbenschlag gleich $Q\,L$, für n Kolbenschläge ist es also gleich $n\,Q\,L$ Kubikdecimeter.

Macht nun der Kolben n Kolbenschläge, während 1 Kilogramm Dampf verbraucht wird, so ist der vom Kolben unterdessen beschriebene Raum $n\,Q\,L$ gleich dem Volumen V, welches 1 Kilogramm gesättigten Wasserdampfes von der Spannkraft p einnimmt, d. h. es ist

$$V = n\,Q\,L.$$

Setzen wir V für das Product $n\,Q\,L$ in Gleichung (1), so kommt

$$E = 10{,}33\,p\,.\,V \text{ Meterkilogramm} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Dieser Werth von E ist die volle mechanische Arbeit, welche 1 Kilogramm Wasserdampf, in der angedeuteten Weise in einer Dampfmaschine verwendet, zu leisten im Stande ist.

Nach den Angaben in §. 252 S. 466 ist das Product:

$10{,}33\,p\,V$	für	1	Atmosphäre	Spannkraft	gleich 17561
„		4	„	„	„ 19627
„		10	„	„	„ 21383.

Nehmen wir an, daß eine Zeit von t Secunden nöthig sei, um im Kessel einer Dampfmaschine 1 Kilogramm Wasser zu verdampfen, so ist die in 1 Secunde geleistete mechanische Arbeit

$$e = \frac{E}{t} = \frac{10{,}33\,p\,V}{t}.$$

Da man für die Arbeit einer Pferdekraft 75 Meterkilogramm in 1 Se-

cunde annimmt, so muß für eine Dampfmaschine, deren Arbeit gleich der einer Pferdekraft sein soll, $e = 75$ Meterkilogramm, oder

$$\frac{10{,}33\, p\, V}{t} = 75$$

$$t = \frac{10{,}33\, p\, V}{75}$$

sein. Für $p = 4$ Atmosphären erhalten wir also

$$t = \frac{19627}{75} = 261'',$$

d. h. eine Dampfmaschine, welche bei einem Dampfdruck von 4 Atmosphären die Arbeit einer Pferdekraft leisten soll, wird 1 Kilogramm Wasserdampf in 261 Secunden oder nahezu $13\frac{1}{2}$ Kilogramm Wasserdampf in 1 Stunde consumiren.

Bei geringerer Spannkraft des Dampfes wird zur Erzeugung einer Pferdekraft etwas mehr, bei höherer Spannkraft wird etwas weniger als $13\frac{1}{2}$ Kilogramm Wasserdampf per Stunde nöthig sein.

Ein Theil der oben mit E bezeichneten durch den Wasserdampf in einer Dampfmaschine geleisteten Arbeit wird verwendet, um den auf der andern Seite des Kolbens lastenden Druck (bei Hochdruckmaschinen der Druck der Atmosphäre, bei Niederdruckmaschinen ein aliquoter Theil des Atmosphärendrucks) zu bewältigen, ein anderer Theil wird durch Ueberwindung von Reibungswiderständen u. s. w. consumirt. Wie groß der zu nutzbarer Verwendung übrig bleibende Theil von E ist, hängt von der mehr oder minder zweckmäßigen Construction der Maschine ab. Im Durchschnitt wird die nutzbare verwendbare Arbeit der Dampfmaschinen nicht viel mehr als $\frac{E}{2}$ betragen.

Einen großen Vortheil hat man bei den Hochdruckmaschinen durch Anwendung der Expansion des Dampfes im Cylinder erlangt, welche dadurch hervorgebracht wird, daß der Dampfzufluß abgesperrt wird, wenn der Kolben erst einen Theil seines Weges, etwa $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$ u. s. w., zurückgelegt hat. Daß durch Anwendung des Expansionsprincips bei gleichem Dampfverbrauche ein größerer Effect hervorgebracht wird, läßt sich durch folgende einfache Betrachtung einsehen.

In einen Dampfcylinder ströme während des ganzen Kolbenhubes, wie dies bei gewöhnlichen Maschinen der Fall ist, Dampf ein, dessen Spannkraft wir zu 2 Atmosphären annehmen wollen, so ist am Ende des Kolbenhubes der ganze Cylinder mit Dampf von 2 Atmosphären Spannkraft gefüllt, und während dieses Kolbenhubes ist ein mechanischer Effect hervorgebracht worden, den wir mit E bezeichnen wollen.

Ließe man nun in denselben Cylinder Dampf von doppelter, also von 4 Atmosphären Spannkraft eintreten, so würde der Druck gegen den Kolben doppelt so groß sein, und der mechanische Effect E würde schon hervorgebracht worden sein, wenn der Kolben erst den halben Hub vollendet hat, wenn er in

der Mitte des Cylinders angekommen ist. Wird nun in diesem Momente der fernere Zufluß des Dampfes in den Cylinder abgesperrt, so wird der Kolben die übrige Hälfte seines Weges fortsetzen, während der Druck, der ihn treibt, nach und nach bis zur Hälfte abnimmt; denn wenn er am Ende seiner Bahn ankommt, so ist die Spannkraft des Dampfes noch 2 Atmosphären.

Da schon während der ersten Hälfte des Kolbenhubes der mechanische Effect E hervorgebracht worden ist, so ist der ganze Effect, welchen der Dampf während der zweiten Hälfte des Kolbenhubes hervorbringt, während er sich also so ausdehnt, daß seine Spannkraft von 4 Atmosphären bis zu 2 Atmosphären abnimmt, als Gewinn zu betrachten; denn die Quantität des Dampfes, welche am Ende des Kolbenhubes den Cylinder erfüllt, ist gerade eben so groß, als ob während des ganzen Kolbenhubes Dampf von 2 Atmosphären Spannkraft eingeströmt wäre.

Die verschiedenen Vorrichtungen, durch welche eine rechtzeitige Absperrung des Dampfes in den Expansionsmaschinen bewirkt wird, können wir hier nicht näher betrachten.

Ausführlicher wird die Berechnung des Effects der Dampfmaschinen im Supplementband (§. 112 Seite 248 bis 257) besprochen.

258 **Abhängigkeit des Siedepunktes vom Drucke.** Die Verwandlung der Flüssigkeiten in gasförmige Körper nennt man im Allgemeinen Verdampfung. Die Flüssigkeiten verdampfen entweder durch das Kochen, wenn sich durch die ganze Masse der Flüssigkeit Dämpfe bilden, oder durch Verdunsten, wenn die Dampfbildung bloß an der Oberfläche vor sich geht.

Wenn man das Kochen einer Flüssigkeit beobachtet, sieht man in der Regel nur eine mehr oder minder heftige Bewegung aller Theilchen; wenn man aber die Flüssigkeit in einem gläsernen Gefäße kochen läßt, so sieht man wie die Dampfblasen sich an den wärmeren Gefäßwänden bilden und in die Höhe steigen. Anfangs klein, nehmen sie an Volumen zu, je mehr sie steigen. An den heißesten Stellen der Wand folgen die Blasen am schnellsten auf einander. Damit sich die Blasen in der Flüssigkeit bilden können, welche doch von allen Seiten einen Druck auf sie ausübt, muß der Dampf, welcher die Blasen ausfüllt, offenbar eine Spannkraft haben, welche dem Drucke der Umgebung das Gleichgewicht hält. Die erste Bedingung des Kochens ist also, daß die Temperatur so hoch ist, daß die Spannkraft der Dämpfe den von allen Seiten auf die zu bildenden Dampfblasen wirkenden Druck aushalten kann. Eine zweite Bedingung ist die, daß genug Wärme vorhanden sei, welche bei der Dampfbildung als latente Wärme absorbirt wird.

Aus der ersten Bedingung folgt, daß der Siedepunkt einer Flüssigkeit mit dem auf ihr lastenden Drucke sich ändert, aus der zweiten aber, daß die Schnelligkeit des Kochens von der Wärmemenge abhängt, welche in einer gegebenen Zeit durch die Gefäßwände hindurch der Flüssigkeit zugeführt wird.

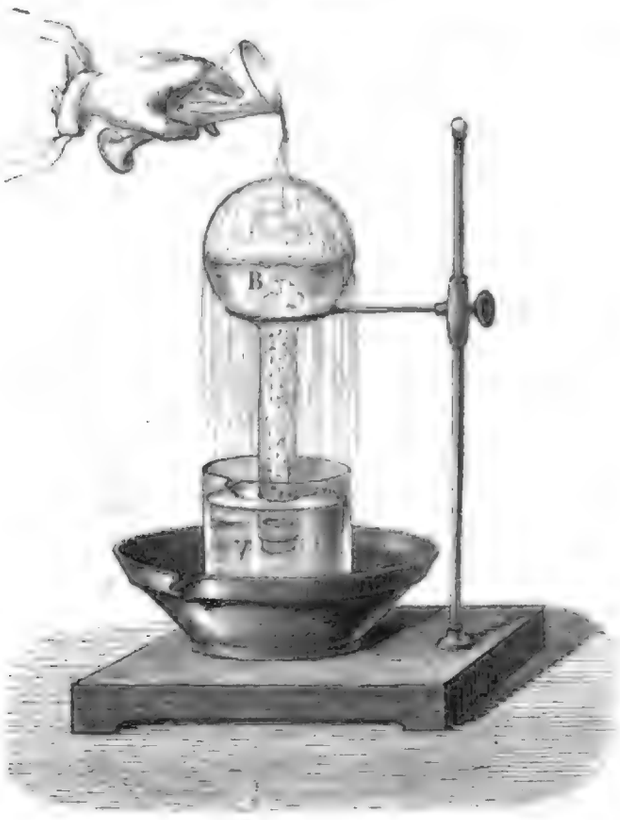
Am Spiegel des Meeres und unter dem mittleren Drucke von 760 Millimetern kocht das reine Wasser bei 100°; auf dem Gipfel des Montblanc, in

einer Höhe von 4775 Metern, wo der Druck der Atmosphäre nur noch 417 Millimeter beträgt, kocht das Wasser schon bei einer Temperatur, bei welcher die Spannkraft des Wasserdampfes 417 Millimeter beträgt, d. h. ungefähr bei 84°. In noch größerer Höhe würde das Wasser bei noch niedrigerer Temperatur sieden. Wenn man die Tafel für die Spannkraft der Dämpfe einer Flüssigkeit hat, so kann man leicht die Temperatur des Siedepunktes bei gegebenem Drucke finden; denn es ist derjenige Temperaturgrad, für welchen die Spannkraft des gesättigten Dampfes jenem Drucke gleich ist.

Bei einem Drucke von 30 Millimetern ist die Siedetemperatur des Wassers 30°, weil bei dieser Temperatur die Spannkraft des gesättigten Wasserdampfes 30 Millimeter ist. Unter einem Drucke von 10 Millimetern siedet das Wasser bei 11°, unter einem Drucke von 5 Millimetern bei 0°.

Die Wahrheit dieser Folgerungen läßt sich leicht durch den Versuch nachweisen. Man bringt warmes Wasser in einem Glasgefäße unter den Recipienten der Luftpumpe. Nach einigen Kolbenzügen nun beginnt das Kochen mit Heftigkeit gerade so, als ob das Wasser an freier Luft über einem lebhaften Feuer stände. Dieses Sieden hört aber bald auf, weil der Dampf den Recipienten erfüllt und selbst auf die Flüssigkeit drückt; ein neuer Kolbenzug aber nimmt diesen Dampf wieder weg und macht, daß das Kochen von Neuem beginnt. Mit unseren Luftpumpen ist es nicht möglich, das Wasser bei 0° ins Sieden zu bringen, weil man keine Verdünnung von 2 Millimetern hervorbringen kann, indem sich beständig Dampf an der Oberfläche des Wassers bildet.

Fig. 526.



Hierher gehört auch der folgende Versuch. Ein Glasballon B mit langem Halse wird über die Hälfte mit Wasser gefüllt; wenn durch Kochen desselben alle Luft ausgetrieben ist, wird das Rohr mit einem wohlschließenden Kork geschlossen und der Apparat umgekehrt in das Wasser eines Gefäßes V eingetaucht, wie Fig. 526 zeigt. Wenn man ihn sich selbst überläßt, ist kein Sieden zu beobachten; sobald man aber kaltes Wasser auf den oberen Theil gießt, so beginnt es auf der Stelle mit großer Heftigkeit. Das kalte Wasser bringt das

Waſſer im Ballon ins Kochen, weil es den Dampf im oberen Theile des Ballons verdichtet und ſo den auf der Flüſſigkeit laſtenden Druck vermindert.

Die Variationen des Siedepunktes hat man durch directe Verſuche an hochgelegenen Orten der Alpen, Pyrenäen und anderer Gebirge beſtätigt.

Das kochende Waſſer iſt alſo nicht an allen Orten der Erde gleich warm, und folglich iſt es auch nicht überall gleich tauglich zu häuslichen Zwecken, zur Bereitung der Speiſen. In Quito z. B. kocht das Waſſer ſchon bei 90°, und dieſe Temperatur iſt zum Kochen mancher Subſtanzen zu niedrig, welche eine Temperatur von 100° erfordern.

Da der Barometerſtand an einem und demſelben Orte beſtändig ſchwankt, ſo folgt, daß ſich auch der Siedepunkt beſtändig ändert.

Wenn man den Druck auf die Flüſſigkeit vermehrt, ſo wird dadurch das Kochen verzögert, und die Temperatur ſteigt, wie wir dies bereits bei dem kleinen Dampfkeſſel auf Seite 465 geſehen haben. Die erſten derartigen Verſuche machte Papin, ein in der Mitte des 17. Jahrhunderts in Marburg lebender Gelehrter, welcher mit dem nach ihm genannten Papinianiſchen Topfe oder Digeſtor, der im Weſentlichen nichts Anderes iſt als ein kleiner mit einem Sicherheitsventile verſehener Dampfkeſſel, nicht allein die große mechaniſche Kraft des Dampfes nachwies, ſondern auch zeigte, daß man Fleiſch, Knochen u. ſ. w. in einem ſolchen Topfe bei erhöhter Temperatur und vermehrtem Drucke weit vollſtändiger extrahiren kann als bei der gewöhnlichen Siedetemperatur.

Wenn man in einem Gefäße Waſſer ins Kochen bringt, aus welchem der Dampf nur durch verhältnißmäßig kleine Oeffnungen abziehen kann, ſo beobachtet man eine Erhöhung des Siedepunktes. Durch eine kleine Oeffnung kann nämlich nur dann aller Dampf, welcher durch die in jedem Momente in die Flüſſigkeit übergehende Wärme erzeugt wird, ausſtrömen, wenn durch die größere Spannkraft des Dampfes eine größere Ausſtrömungsgeſchwindigkeit möglich geworden iſt.

In einer flüſſigen Maſſe wirkt auf die Theilchen im Innern nicht allein der Druck, welcher auf der Oberfläche laſtet, ſondern auch noch das Gewicht einer Flüſſigkeitsſäule. Hätte man z. B. einen 32 Fuß tiefen mit Waſſer gefüllten Keſſel, ſo würde am Boden ein Druck von 2 Atmoſphären ſtattfinden, und hier würden ſich alſo erſt bei einer Temperatur von 121,4° Dampfblaſen bilden können. Da aber die Temperatur der flüſſigen Schichten an der Oberfläche nicht über 100° ſteigen kann, ſo wird die Flüſſigkeit vom Boden, ihres geringeren ſpecifiſchen Gewichtes wegen, fortwährend aufſteigen. Weil der Druck mit dem Steigen abnimmt, bilden ſich Dampfblaſen, ihre Temperatur nimmt aber allmälig von 121° bis 100° ab. Die Dampfblaſen, welche ſich in der Tiefe bilden, nehmen an Größe um ſo mehr zu, je höher ſie ſteigen, weil der Druck, welcher auf ſie wirkt, immer geringer wird. Dieſe Erſcheinungen beobachtete man ſelbſt ſchon in kleinen Gefäßen, in welchen das Waſſer nur einige Zoll tief iſt. — Bevor das vollſtändige Kochen beginnt, bilden ſich an dem Boden ſchon Dampfblaſen, welche aber beim Aufſteigen ſich plötzlich wieder verdichten, weil ſie in Waſſerſchichten kommen, deren Temperatur noch

zu niedrig ist. Daher rührt das eigenthümliche Geräusch, welches man einige Augenblicke vor dem vollständigen Kochen wahrnimmt. Wenn man den Versuch in einem Glaskolben anstellt, so beobachtet man, wie sich die Blasen am Boden bilden, wie sie steigen und alsbald verschwinden. Man sagt alsdann, das Wasser *singt*. Das Singen ist ein Zeichen des bald erfolgenden vollständigen Kochens.

Auch durch Substanzen, welche im Wasser aufgelöst sind, wird das Sieden verzögert; so siedet eine gesättigte Lösung von Kochsalz erst bei 108,4°, eine Lösung von Salpeter bei 116°; eine gesättigte Lösung von essigsaurem Kali erst bei 169°, von salpetersaurem Ammoniak erst bei 180°.

Siedepunkte verschiedener Flüssigkeiten. So wie der 259
Schmelzpunkt nicht für alle Substanzen derselbe ist, so ist auch bei gleichem Drucke der Siedepunkt verschiedener Flüssigkeiten sehr ungleich. Um ihn zu bestimmen, kann man sich eines nach der Art der Fig. 527 zusammengesetzten Apparates bedienen. Die folgende Tabelle enthält die Siedepunkte mehrerer Flüssigkeiten für einen Barometerstand von 760^{mm}:

Fig. 527.

Cyangas	—	18°	C.
Schweflige Säure. . .	—	10	„
Schwefeläther	+	37,8	„
Schwefelkohlenstoff . .		47,0	„
Alkohol		79,7	„
Wasser		100	„
Terpentinöl		157	„
Quecksilber		350	„

Verdunstung nennt man die Bildung 260
von Dampf an der freien Oberfläche der Flüssigkeit, während, wie wir gesehen haben, das *Kochen* darin besteht, daß sich auch im Inneren der flüssigen Masse Dampf bildet. Das Wasser verdampft an der Oberfläche der Flüsse, Seen und Meere, es verdampft an der Oberfläche des feuchten Bodens, an den Pflanzen. Offenbar hat der sich so bildende Wasserdampf keine Spannkraft, welche stark genug ist, um den Druck der atmosphärischen Luft zu überwinden. Die alltäglichsten Beobachtungen zeigen uns, daß sich bei jeder Temperatur Wasserdampf bildet, und daß er sich auch bei der schwächsten Tension doch in den Lüften verbreitet. In einem lufterfüllten Raume kann sich gerade eben so viel Wasserdampf verbreiten, wie in einem gleichgroßen luftleeren Raume unter sonst gleichen Umständen. Der Wasserdampf, so schwach seine Spannkraft auch sein mag, mischt sich mit der Luft, wie sich zwei Gase mischen. Die einzige Bedingung also, welche erfüllt sein muß, damit eine Flüssigkeit verdunsten kann, ist die, daß die umgebenden

Luftschichten nicht mit Dampf gesättigt sind; da ferner bei der Mischung zweier Gase die Moleküle des einen ein mechanisches Hinderniß für die Verbreitung des anderen bilden, so kommt es, daß bei der Verdunstung die Luft ein Hinderniß für die schnelle Verbreitung des Dampfes ist. In einer vollkommen ruhigen Atmosphäre geht deshalb die Verdunstung nur langsam vor sich, während bei bewegter Luft die Verdunstung weit rascher vor sich geht, indem die Flüssigkeit stets mit neuen Luftschichten in Berührung kommt, die noch nicht mit Dampf gesättigt sind. Daher kommt es, daß, wenn ein trockener Wind mit Lebhaftigkeit weht, das Wasser sehr rasch verdunstet.

261 **Latente Wärme der Dämpfe.** Wenn eine Flüssigkeit verdampft, so muß sie Wärme absorbiren; diese beim Verdampfen absorbirte Wärme ist für das Gefühl und für das Thermometer ebenso verschwunden wie die Wärme, welche beim Schmelzen gebunden wird.

Daß bei der Dampfbildung Wärme gebunden wird, geht schon daraus hervor, daß die Temperatur einer Flüssigkeit während des Kochens unverändert bleibt. Die Temperatur des siedenden Wassers bleibt 100°, wie sehr wir auch das Feuer verstärken mögen; alle Wärme, welche man dem siedenden Wasser zuführt, dient nur dazu, das Wasser von 100° in Dampf von 100° zu verwandeln.

Das Binden von Wärme beim Verdampfen der Flüssigkeiten läßt sich leicht dem Gefühle merklich machen; man gieße nur einige Tropfen einer leicht verdampfenden Flüssigkeit, etwa Weingeist oder Schwefeläther, auf die Hand, so wird man ein Gefühl von Kälte haben, weil der Hand die zum Verdampfen der Flüssigkeit nöthige Wärme entzogen wird. Wenn man die Kugel eines Thermometers mit Baumwolle umwickelt und diese mit Schwefeläther betröpfelt, so sinkt das Thermometer um mehrere Grade.

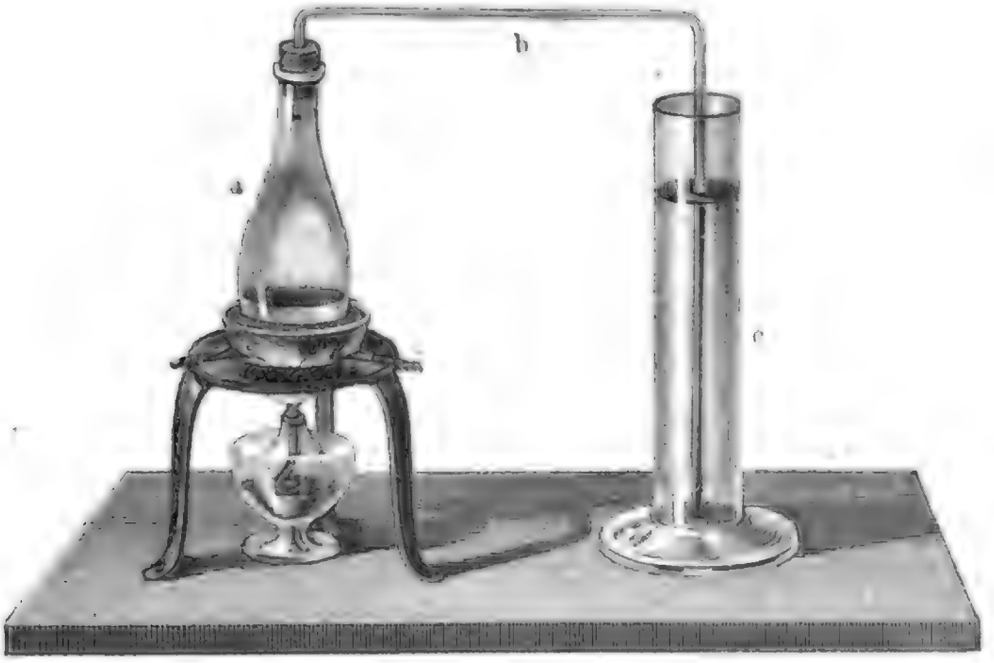
Nachdem wir nun die Bindung der Wärme bei der Dampfbildung der Art nach kennen gelernt haben, kommt es darauf an, die latente Wärme der Dämpfe auch der Größe nach zu bestimmen, d. h. zu ermitteln, *wieviel* Wärme nöthig ist, um eine bestimmte Menge irgend einer Flüssigkeit in Dampf zu verwandeln.

In Fig. 528 stelle *a* einen Glaskolben vor, in welchem Wasser mit Hülfe einer Weingeistlampe kochend erhalten wird; wenn nun die sich bildenden Dämpfe durch ein Glasrohr *b* in ein cylindrisches Gefäß *c* geleitet werden, welches mit kaltem Wasser gefüllt ist, so werden die Dämpfe hier verdichtet, die Wärme also, welche bei der Bildung der Dämpfe in *a* gebunden wurde, muß in *c* wieder frei werden, das kalte Wasser in *c* wird also allmälig erwärmt, und aus der hier hervorgebrachten Temperaturerhöhung kann man auf die Größe der latenten Wärme der Dämpfe schließen.

Nehmen wir an, das Kochen im Gefäße *a* habe schon einige Zeit gedauert, so daß alle Luft aus dem Gefäße ausgetrieben ist, und nun erst tauche man das Ende des gekrümmten Rohres in das kalte Wasser des Cylinders *c*, so werden alle Dampfblasen alsbald verdichtet, so wie sie mit dem kalten Wasser in Berührung kommen. In dem Maße aber, als das Wasser in *c* wärmer

wird, werden die Dampfblasen größer, bis endlich, wenn auch das Wasser in *c* zur Siedhitze erwärmt ist, die Dampfblasen unverdichtet durch die ganze Flüs-

Fig. 528.



sigkeitsmasse aufsteigen, also in *c* selbst ein förmliches Kochen stattfindet. In dem Augenblicke, in welchem das Kochen in *c* beginnt, wird der Versuch unterbrochen, indem man das Gefäß *a* entfernt.

Gesetzt nun, in *c* hätten sich zu Anfange des Versuches 11 Cubikzoll Wasser von 0° befunden, so wird der Cylinder *c* jetzt, nach Beendigung des Versuches, 13,1 Cubikzoll Wasser von 100° enthalten; es sind also 2,1 Cubikzoll Wasser hinzugekommen. Diese 2,1 Cubikzoll Wasser sind im Gefäße *a* verdampft und im Cylinder *c* verdichtet worden; die latente Wärme, welche in *a* gebunden wurde, ist in *c* wieder frei geworden und hat hier die 11 Cubikzoll Wasser von 0° auf 100° erwärmt; dieselbe Wärmemenge also, welche bei der Verdampfung von 2,1 Cubikzoll Wasser absorbirt wird, reicht hin, um die Temperatur von 11 Cubikzoll Wasser von 0° bis 100° zu erhöhen. Nun aber verhalten sich 2,1 zu 11 wie 1 zu 5,2; wir können das Resultat unseres Versuches also auch folgendermaßen ausdrücken: Die Wärmemenge, welche nöthig ist, um eine bestimmte Quantität Wasser von 100° in Dampf von 100° zu verwandeln, reicht hin, um die Temperatur einer 5,2mal so großen Wassermasse von 0° auf 100° zu erhöhen.

Wir haben oben angeführt, daß man als Einheit der Wärmemengen diejenige Wärmequantität annimmt, welche erforderlich ist, um die Temperatur von 1 Gramm Wasser um 1° zu erhöhen; um die Temperatur von 5,2 Gramm Wasser um 1° zu erhöhen, sind also 5,2, und um die Temperatur dieser Wassermasse um 100° zu erhöhen, wären demnach 520 solcher Wärmeeinheiten nöthig.

Die latente Wärme von 1 Gramm Wasserdampf ist demnach gleich 520.

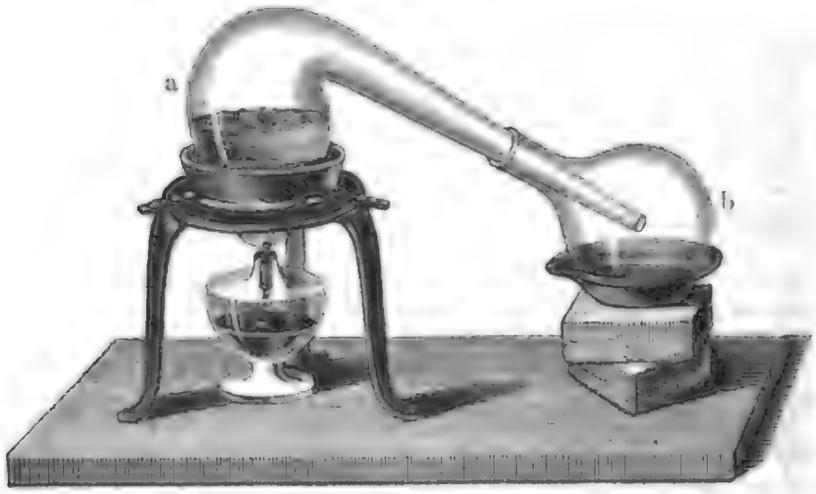
Der eben angeführte Versuch ist nun nicht geeignet, die latente Wärme des Wasserdampfes genau zu bestimmen, er wird immer mehr oder weniger unrich-

tige Resultate geben; er ist aber sehr geeignet, den Zusammenhang der Sache recht anschaulich zu machen. Was die Resultate dieses Versuches besonders ungenau macht, ist der Umstand, daß bei der hohen Temperatur, zu welcher man das Wasser im Cylinder *c* erheben muß, ein bedeutender Wärmeverlust an die Umgebung stattfindet; dann aber wird auch eine nicht unbedeutende Quantität Wasserdampf schon im Rohre *b* verdichtet, giebt hier schon seine frei werdende Wärme an die Luft ab, und kommt als Wasser im Cylinder *c* an; man begreift also leicht, daß, bis das Wasser in *c* ins Kochen kommt, mehr Wasser aus dem Gefäße *a* herübergekommen sein wird, als es der Fall sein würde, wenn diese beiden Fehlerquellen nicht vorhanden wären; dieser Versuch wird also in der Regel einen zu kleinen Werth für die latente Wärme des Wasserdampfes geben. Wir können hier die genaueren Methoden zur Bestimmung dieser Größe nicht näher auseinandersetzen.

Bei der Destillation werden die in irgend einem Gefäße durch Erwärmung gebildeten Dämpfe an einen Ort geleitet, welcher durch kaltes Wasser beständig abgekühlt wird, wodurch dann die Dämpfe wieder condensirt, d. h. in tropfbare Flüssigkeit verwandelt werden.

Eine der einfachsten Vorrichtungen zur Destillation ist die in Fig. 529 abgebildete. Die durch irgend welche fremde, weniger flüchtige Substanzen ver-

Fig. 529.

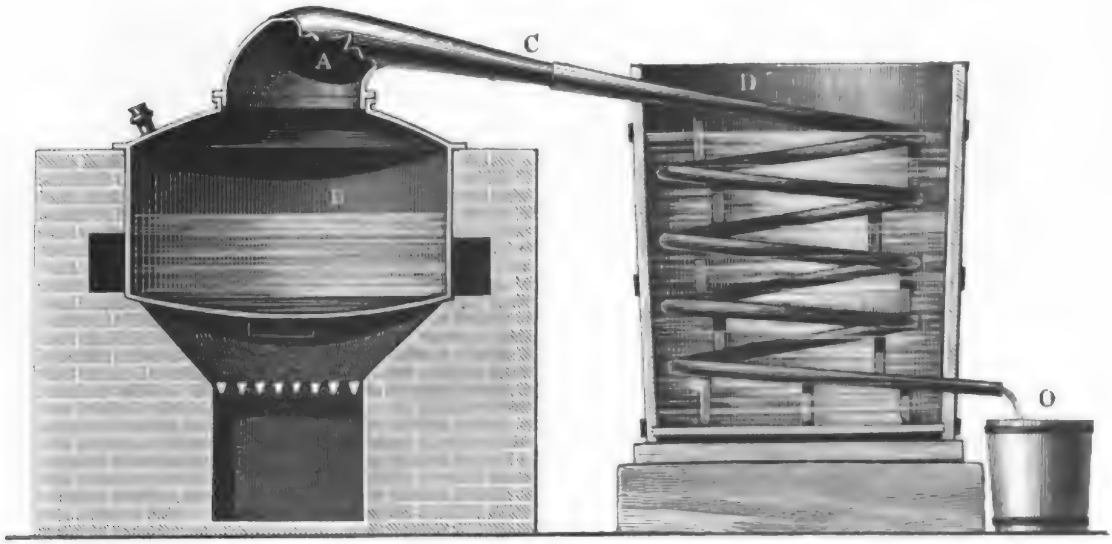


unreinigte Flüssigkeit, welche durch Destillation gereinigt werden soll, wird in der Retorte *a* erwärmt, deren Hals in der Vorlage *b* steckt. Diese Vorlage wird dadurch kühl gehalten, daß sie in einer Schale mit kaltem Wasser liegt. Der besseren Abkühlung wegen wird auch Löschpapier oder ein Leinwandlappen auf die Vorlage gelegt und auf diesen fortwährend kaltes Wasser getröpfelt. Die in der Retorte *a* gebildeten Dämpfe werden theils schon in dem Halse der Retorte, theils in der Vorlage selbst verdichtet und sammeln sich in der letzteren.

Fig. 530 stellt einen Apparat dar, wie er zu Destillationen in größerem Maßstabe gebraucht wird. Das Gemisch, aus welchem eine Flüssigkeit durch Destillation gewonnen werden soll, befindet sich in der meist aus Kupferblech verfertigten Blase *B*. Auf dieser sitzt der Helm *A*, welcher mit einem in das Kühlrohr *D* mündenden Rohre *C* versehen ist. Das schraubenförmig gewun-

dene Kühlrohr befindet ſich in einem mit kaltem Waſſer gefüllten Bottich. Die durch Condenſation der Dämpfe im Kühlrohre gebildete Flüſſigkeit fließt bei *o* aus demſelben in ein untergeſtelltes Gefäß ab.

Fig. 530.



Bei der Condenſation der Dämpfe wird ihre bis dahin gebunden geweſene latente Wärme wieder frei, und dieſe freigewordene Wärme geht in das Kühlwaſſer über, woher es kommt, daß daſſelbe ſehr ſchnell erwärmt wird. Weil aber die Condenſation der Dämpfe im Kühlrohre um ſo vollſtändiger erfolgt, je kälter das Kühlwaſſer iſt, ſo muß dafür geſorgt werden, daß in dem Kühlfaſſe durch ein eigenes Rohr unten ſtets kaltes Waſſer einſtrömt, während in gleichem Maße oben das bereits erwärmte Waſſer abfließt.

Man könnte nun mit jedem Deſtillirapparate den Werth der latenten Wärme der Dämpfe beſtimmen, wenn es möglich wäre, jederzeit genau zu ermitteln, wie viel Dampf in einer gegebenen Zeit verdichtet worden iſt und wie viel Wärme er an das Kühlwaſſer abgegeben hat; um die latente Wärme der Dämpfe genau zu beſtimmen, hat man alſo nur einen Deſtillirapparat ſo einzurichten, daß ſich dieſe Größen mit Genauigkeit ermitteln laſſen. Nach dieſem Principe iſt in der That die latente Wärme der Dämpfe verſchiedener Flüſſigkeiten ermittelt worden. Es iſt die latente Wärme für den Dampf von

Waſſer	540
Alkohol	214
Schwefeläther	90,

d. h. um ein Gramm dieſer Flüſſigkeiten bei dem Drucke einer Atmoſphäre in Dampf zu verwandeln, wird 540-, 214-, 90mal ſo viel Wärme gebunden, als nöthig iſt, um die Temperatur von 1 Gramm Waſſer um 1^{0} zu erhöhen.

Die latente Wärme der Dämpfe ist nicht für alle Temperaturen dieselbe; sie ist größer für niedrige, geringer für hohe Temperaturen.

262 **Erzeugung von Kälte durch Verdampfung.** Wenn eine Flüssigkeit an freier Luft kocht, so behält sie eine constante Temperatur, weil sie von dem Feuer durch die Wände des Gefäßes stets so viel Wärme erhält, als durch die Dampfbildung absorbirt wird. Wenn das Kochen aber unter dem Recipienten der Luftpumpe vor sich geht, so sinkt die Temperatur fortwährend, weil alsdann der Dampf die zu seiner Bildung nöthige latente Wärme aus der Flüssigkeit selbst und aus den umgebenden Körpern nehmen muß.

Gießt man etwas Weingeist oder noch besser Schwefeläther auf die Hand, so fühlt man eine merkliche Erkaltung, weil die Flüssigkeit die zu ihrer Verdunstung nöthige Wärme aus der Hand nimmt. — Wenn wir an heißen Tagen in Zugluft treten, so fühlen wir alsbald eine erfrischende Kühle. Es ist dies keineswegs die Folge davon, daß uns der Zug kalte Luft zuführt; die an uns vorüberstreichende Luft mag, wie wir uns durch das Thermometer überzeugen können, sehr warm sein, der Zug bringt uns doch diese Abkühlung, weil er eine lebhafte Verdunstung auf der Haut erhält. — Wir haben das Gefühl einer drückenden Schwüle, wenn wir uns in einer mit Feuchtigkeit gesättigten windstillen Atmosphäre befinden, in welcher keine Verdunstung an unserem Körper stattfinden kann.

Wenn man die Kugel eines Thermometers mit Baumwolle umwickelt, dieselbe mit Schwefeläther befeuchtet und dann rasch das Thermometer hin und her schwenkt, so sinkt es noch einige Grade unter den Gefrierpunkt.

Unter den verschiedenen Methoden, durch rasche Verdampfung von Aether oder Schwefelkohlenstoff Wasser zum Gefrieren zu bringen, ist die folgende die einfachste: Man bringe einige Tropfen Wasser auf ein Brettchen, Fig. 531, setze darauf ein dünnwandiges Schälchen von Kupferblech und gieße etwas Aether oder Schwefelkohlenstoff hinein. Bewirkt man alsdann dadurch eine rasche Verdampfung dieser flüchtigen Flüssigkeit, daß man mit einem gewöhnlichen Küchenblasebalge darauf bläst, so gefriert alsbald das Wasser unter dem Schälchen,

Fig. 531.

Fig. 532.

so daß dieses mit dem Brette nun fest zusammenhängt.

In Wollaston's Kryophor gefriert das Wasser durch seine eigene Verdampfung. Zwei Glaskugeln *A* und *B*, Fig. 532, sind durch eine möglichst weite Röhre verbunden. Aus dem Innern des Apparates, welcher eine entsprechende Menge Wasser enthält, muß alle Luft ausgetrieben sein, was dadurch

erreicht wird, daß man das Waſſer in beiden Kugeln im Kochen erhält, und nachdem daſſelbe eine Zeit lang unterhalten worden iſt, die Oeffnung bei *e*, durch welche die Dämpfe entweichen, mit Hülfe eines Löthrohres zuſchmilzt. Wenn man nun in dem ſo hergeſtellten Apparate alles Waſſer in einer Kugel *A* zuſammenlaufen läßt und dann die andere Kugel *B* in eine Kältemiſchung taucht, ſo wird durch die fortwährend in *B* erfolgende Verdichtung der Waſſerdämpfe in der Kugel *A* eine ſo raſche Verdunſtung hervorgerufen, daß das Waſſer gefriert.

Die durch Verdampfung einer Flüſſigkeit hervorgebrachte Temperaturerniedrigung iſt um ſo bedeutender, je niedriger ihr Siedepunkt liegt und je größer die latente Wärme ihres Dampfes iſt. Die bedeutendſten Temperaturerniedrigungen werden durch Verdampfen ſolcher Flüſſigkeiten erzeugt, deren Siedepunkt noch unter 0° liegt; ſo kann man z. B. durch raſches Verdampfen von ſchwefliger Säure, deren Siedepunkt — 10° iſt, ſelbſt Queckſilber zum Gefrieren bringen. Kohlenſäure kann durch ſtarke Compreſſion in einem ſchmiedeeiſernen Recipienten flüſſig gemacht werden. Wenn man nun die flüſſige Kohlenſäure aus einer feinen Oeffnung ausſtrömen läßt, ſo iſt die bei ihrer raſchen Verdampfung ſtattfindende Temperaturerniedrigung ſo ſtark, daß ein Theil der ausſtrömenden Kohlenſäure feſt wird und in einem entſprechenden Gefäße als ſchneeartige Maſſe geſammelt werden kann, deren Temperatur 90° C. unter dem Gefrierpunkte des Waſſers liegt.

Drittes Capitel.

Specifische Wärme der Körper.

---

263 **Begriff der specifischen Wärme.** Wenn man 1 Pfund Wasser von 10° mit 1 Pfund Wasser von 60° rasch mischt, so wird die Mischung nahezu die mittlere Temperatur von 35° haben. Dieselbe Wärmemenge, welche das eine Pfund Wasser abgab, um von 60 auf 35°, also um 25° zu erkalten, hat auch gerade hingereicht, um die Temperatur des anderen Pfundes Wasser um eben so viel Grade, nämlich von 10 auf 35°, zu erhöhen.

Anders verhält sich die Sache, wenn wir 1 Pfund Wasser mit 1 Pfund irgend einer anderen Substanz mengen. Gießt man z. B. 1 Pfund Wasser von 10° und 1 Pfund Terpentinöl von 60° zusammen, so wird die wohl durch einander gerüttelte Mengung nur eine Temperatur von ungefähr 24° zeigen.

Die Wärmemenge, welche 1 Pfund Terpentinöl bei einer Temperaturerniedrigung von 36° C. abgegeben hat, genügte also nur, um die Temperatur von 1 Pfund Wasser um 14° C. zu erhöhen. Um also die Temperatur des Terpentinöls um eine bestimmte Anzahl von Graden zu erhöhen, bedarf es nur $\frac{14}{36}$ oder ungefähr 0,4 von der Wärmemenge, welche nöthig ist, um in einer gleichen Masse Wasser die gleiche Temperaturerhöhung hervorzubringen.

Aehnlich mit anderen Stoffen. Um gleiche Massen Wasser und Quecksilber um gleich viel Grade zu erwärmen, bedarf man für das letztere nur 0,033 der Wärmemenge, welche für das erstere erforderlich ist. Um gleiche Temperaturerhöhung zu bewirken, muß man dem Wasser 30mal so viel Wärme zuführen, als einer gleichen Masse Quecksilber.

Unter der specifischen Wärme eines Körpers versteht man die Zahl der Wärmeeinheiten (Calorien) (Seite 454), welche nöthig sind, um die Temperatur von 1 Gramm der Substanz um 1° C. zu erhöhen.

Den eben gemachten Angaben zufolge wäre also 0,033 die specifische Wärme des Quecksilbers und 0,4 die des Terpentinöls.

Gleichbedeutend mit „specifischer Wärme“ wird auch der Ausdruck Wärmecapacität gebraucht.

Um den Werth der specifischen Wärme für verschiedene Körper zu ermitteln, hat man hauptsächlich drei Methoden in Anwendung gebracht, die wir nun der Reihe nach betrachten wollen.

Nach der Methode des Eisschmelzens wird der Körper, dessen specifische Wärme bestimmt werden soll, gewogen und bis zu einer bestimmten Temperatur erwärmt in ein mit Eisstücken gefülltes Gefäß gebracht. Indem er nun erkaltet, wird ein Theil des Eises geschmolzen; aus der Menge des geschmolzenen Eises ergiebt sich dann die Quantität der Wärme, welche der Körper verlor, und daraus dann auch seine specifische Wärme.

Die Erkaltungsmethode gründet sich auf folgendes Princip. Wenn ein erwärmter Körper in einen Raum gebracht wird, in welchem er nur durch Strahlung erkalten kann, so wird er unter übrigens gleichen Umständen um so langsamer erkalten, je größer seine specifische Wärme ist.

Die genauesten Resultate liefert die Mischungsmethode, die wir auch etwas näher betrachten wollen. Diese Methode besteht im Wesentlichen darin, daß man eine gewogene Menge des zu untersuchenden Körpers bis auf eine bestimmte Temperatur erwärmt und dann in ein Gefäß mit Wasser eintaucht, dessen Temperatur durch Abkühlung jenes Körpers erhöht wird; kennt man die Quantität des Kühlwassers und hat man ermittelt, welche Temperaturerhöhung es durch die Abkühlung des eingetauchten Körpers erleidet, so läßt sich daraus die specifische Wärme dieses Körpers berechnen.

Wenn eine 200 Gramm schwere, bis auf 100^0 erwärmte Platinkugel in eine 15^0 warme Wassermasse von 105 Grammen eingetaucht wird, so findet man, daß nach vollständiger Ausgleichung sowohl die Temperatur des Wassers als die der Kugel 20^0 beträgt. Die Temperatur der Kugel ist also um 80^0 erniedrigt, die des Wassers um 5^0 erhöht worden. Die Wärmemenge, welche in diesem Falle dem Wasser zugeführt wurde, ist 105.5 Wärmeeinheiten, und wenn wir mit c die Wärmemenge bezeichnen, welche nöthig ist, um die Temperatur von 1 Gramm Platin um 1^0 zu erhöhen, die Wärmemenge also, welche jedes Gramm Platin bei einer Temperaturerniedrigung von 1^0 abgiebt, so ist die gesammte Wärmemenge, welche die Platinkugel bei den obigen Operationen abgegeben hat, $200.80.c$; wir haben also:

$$200.80.c = 105.5$$

oder:

$$c = \frac{525}{16000} = 0{,}0328;$$

das Platin bedarf also, um eine gleiche Temperaturerhöhung zu erfahren, einer 0,0328mal so großen Wärmemenge als das Wasser, oder, mit anderen Worten, die specifische Wärme des Platins ist 0,0328.

Bezeichnen wir mit m das Gewicht und mit t die Temperaturerhöhung des Kühlwassers (in dem eben berechneten Beispiele 105 Gramme und 5^0), mit m' und t' das Gewicht und die Temperaturerniedrigung des abgekühlten

Körpers (in unserem Beispiele 200 Gramm Platin und 80°), so ergiebt sich aus der eben für einen concreten Fall durchgeführten Betrachtungsweise für die Berechnung der specifischen Wärme c des abgekühlten Körpers folgende Formel:

$$c = \frac{m.t}{m't'} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

das heißt in Worten, man findet die specifische Wärme des abgekühlten Körpers, wenn man sein Gewicht mit seiner Temperaturerniedrigung multiplicirt und mit diesem Producte in das Product dividirt, welches man erhält, wenn das Gewicht des Kühlwassers mit seiner Temperaturerhöhung multiplicirt wird.

264 Resultate der Versuche über die specifische Wärme.

Die Bestimmung der specifischen Wärme erhielt durch die Arbeiten von Dulong und Petit eine große Wichtigkeit für die Chemie, indem sie fanden, daß das Product, welches man erhält, wenn man die specifische Wärme eines Elementes mit seinem Atomgewichte multiplicirt, stets sehr nahe denselben Werth habe, wie man aus folgender Tabelle ersieht, in welcher die specifische Wärme und das Atomgewicht für einige Metalle zusammengestellt sind.

	Specifische Wärme.	Atomgewicht.	Product.
Eisen	0,114	339	38,6
Zink	0,095	403	38,5
Kupfer	0,095	396	37,8
Blei	0,031	1294	40,6
Silber	0,057	676	38,5
Platin	0,032	1233	40,0
Quecksilber . . .	0,033	1250	41,2

Die specifische Wärme metallischer Elemente ist demnach ihrem Atomgewicht umgekehrt proportional Dies Gesetz, dessen Richtigkeit durch die neueren Untersuchungen Regnault's außer Zweifel gestellt worden ist, macht es möglich, das Atomgewicht eines Körpers aus seiner specifischen Wärme zu berechnen, also auch die auf anderem Wege gefundenen Werthe des Atomgewichtes zu controliren.

Für die specifische Wärme einiger Flüssigkeiten fand Regnault folgende Werthe:

Terpentinöl	0,423
Alkohol, specif. Gew. 0,807	0,602
„ „ „ 0,833	0,665
„ „ „ 0,902	0,843
Schwefelkohlenstoff	0,218.

Specifiſche Wärme der Gaſe. Für den Fall, daß die Gaſe 265
bei der Erwärmung ſich frei ausdehnen können, ihre Spannkraft alſo unverändert bleibt, ergaben ſich folgende Werthe für die ſpecifiſche Wärme einiger Gaſe:

Sauerſtoff	0,218
Stickſtoff	0,244
Waſſerſtoff	3,405
Chlor	0,121
Atmoſphäriſche Luft	0,238
Kohlenſäure	0,248
Waſſerdampf	0,475
Aetherdampf	0,481

Wenn aber ein Gas ſo eingeſchloſſen iſt, daß es ſich bei ſeiner Erwärmung nicht ausdehnen kann, daß alſo ſein Volumen conſtant bleibt, während ſeine Spannkraft (Druck) wächſt, ſo iſt die ſpecifiſche Wärme der Gaſe *geringer* als im vorigen Falle, d. h. um 1 Pfund Luft um 1° zu erwärmen, iſt weniger Wärme nöthig, wenn ſie in einem Raume von unveränderlicher Größe eingeſchloſſen bleibt, als wenn ſie bei unverändertem Drucke ſich ausdehnen kann. Bezeichnen wir mit c die ſpecifiſche Wärme eines Gaſes bei conſtantem Drucke, mit c' ſeine ſpecifiſche Wärme bei conſtantem Volumen, ſo iſt

$$\frac{c}{c'} = 1{,}41.$$

Fig. 533.

Daraus folgt nun aber auch, daß jede Verdünnung eines Gaſes mit einer Wärmebindung begleitet iſt und daß Wärme frei werden muß, wenn man ein Gas comprimirt, wie dies namentlich durch das *pneumatiſche Feuerzeug* erläutert werden kann. Dieſer Apparat beſteht aus einer gläſernen oder meſſingenen unten geſchloſſenen Röhre, Fig. 533, in welcher ſich ein aus Lederſcheiben gebildeter, feſt an die Wand anſchließender Kolben leicht auf- und abſchieben läßt. Das untere Ende des Kolbens iſt etwas ausgehöhlt. Nachdem in dieſe Höhlung etwas Zunder eingelegt worden iſt, wird der Kolben oben in das Rohr eingeſteckt, dann durch einen kräftigen Schlag faſt bis auf den Boden des Rohres hinabgetrieben und raſch wieder herausgezogen. Man findet nach dieſer Operation, daß der Feuerſchwamm in der Höhlung des Kolbens brennt; es muß alſo durch die ſtarke Compreſſion der in der Röhre eingeſchloſſenen Luft eine bedeutende Menge Wärme frei geworden ſein.

Viertes Capitel.

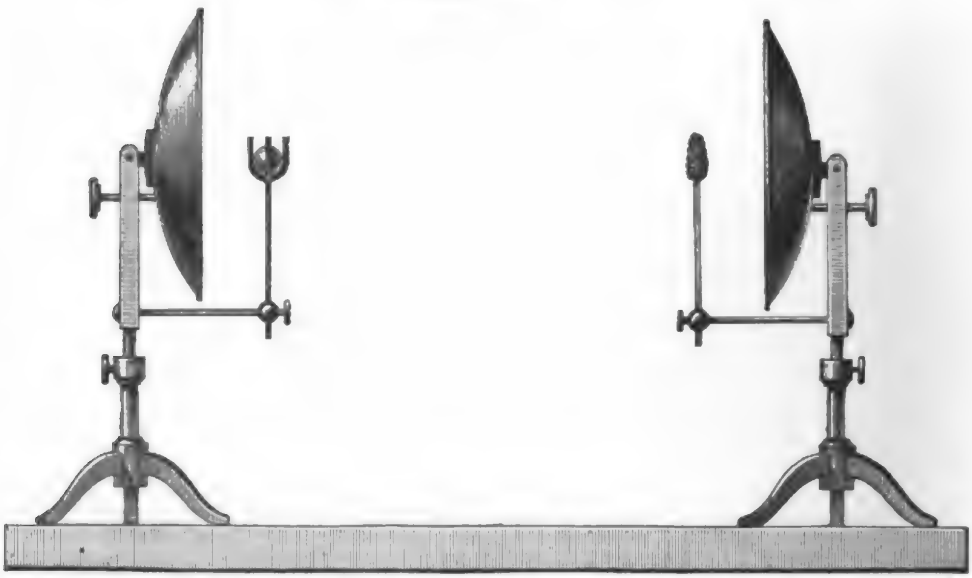
Fortpflanzung der Wärme.

---

266 **Strahlende Wärme.** Die ſtrahlende Wärme durchdringt gewiſſe Körper in derſelben Weiſe, wie das Licht durch die durchſichtigen Körper hindurchgeht; die Sonnenſtrahlen z. B. treffen unſere Erde, nachdem ſie die ganze Atmoſphäre durchdrungen haben, ſie erwärmen die Erdoberfläche, während die höheren Regionen der Luft kalt bleiben; die Wärmeſtrahlen gehen alſo größtentheils durch die Atmoſphäre hindurch, ohne von ihr abſorbirt zu werden. Wenn man ſich dem Feuer eines Heerdes nähert, ſo empfindet man eine brennende Hitze, und doch iſt die Luft zwiſchen uns und dem Feuer nicht bis zu einem ſolchen Grade erwärmt; denn wenn man einen Schirm vorhält, verſchwindet dieſe Hitze augenblicklich, was unmöglich wäre, wenn wirklich die ganze uns umgebende Luftmaſſe eine ſo hohe Temperatur hätte. Heiße Körper können alſo nach allen Seiten hin Wärme ausſenden, welche durch die Luft hindurchgeht wie die Lichtſtrahlen durch durchſichtige Körper; man ſpricht deshalb von *ſtrahlender Wärme* und von *Wärmeſtrahlen*, wie man von Lichtſtrahlen ſpricht.

Wenn man zwei große ſphäriſche oder paraboliſche Hohlſpiegel von polir-

Fig. 534.



tem Meſſingblech, Fig. 534, 5 bis 6 Meter von einander entfernt ſo aufſtellt, daß die Axen beider Spiegel in eine Linie zuſammenfallen, wenn man alsdann

in den Brennpunkt des einen Spiegels ein Stück Zunder, in den Brennpunkt des anderen aber eine fast weißglühende Eisenkugel oder eine glühende Kohle bringt, deren Verbrennung man durch einen Blasebalg lebhaft unterhält, so wird sich der Zunder alsbald entzünden, als ob er mit dem Feuer in Berührung wäre. Dieser Versuch zeigt, daß der glühende Körper Wärmestrahlen aussendet; denn es ist klar, daß der Zunder nicht etwa dadurch angezündet wurde, daß die zwischenliegenden Luftschichten allmälig so stark erhitzt worden sind. Bringt man den Zunder aus dem Brennpunkte weg, so wird er nicht mehr entzündet, wenn man ihn auch dem glühenden Körper weit näher bringt.

Bringt man an die Stelle der glühenden Kugel eine Kugel von 300° und an die Stelle des Zunders ein gewöhnliches Thermometer, so wird das Thermometer rasch steigen; also auch die Kugel von 300° sendet Wärmestrahlen aus.

Wenn man die 300° heiße Kugel mit einem Gefäße voll kochenden Wassers oder mit Wasser von 90°, 80° oder 70° vertauscht, so beobachtet man vielleicht gar keine Temperaturerhöhung mehr am Thermometer; dies beweist aber noch nicht, daß die Wände des Gefäßes bei dieser Temperatur keine Wärme mehr ausstrahlen, sondern nur, daß hier das gewöhnliche Thermometer nicht empfindlich genug ist. Man muß deshalb empfindlichere Instrumente zu Hülfe nehmen, etwa Rumford's oder Leslie's Differentialthermometer oder Melloni's Thermomultiplicator.

Rumford's Differentialthermometer, Fig. 535, besteht aus zwei Glaskugeln, *a* und *b*, welche durch eine gebogene Glasröhre, deren horizontaler Theil 3 bis 5 Decimeter lang ist, verbunden sind. In dieser Röhre befindet sich ein Index von gefärbter Flüssigkeit, auf welchen von beiden Seiten die

Fig. 535.

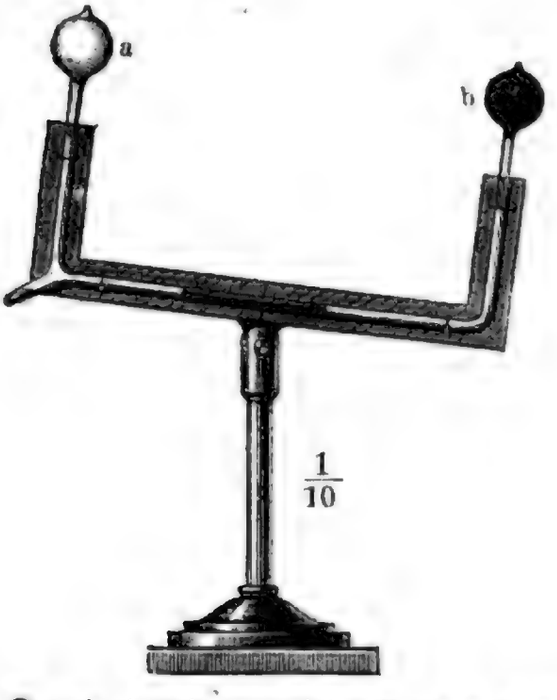
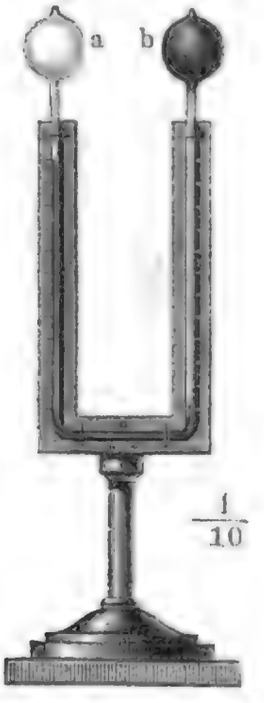


Fig. 536.



Luft der Kugeln drückt; er wird also nur dann an einer bestimmten Stelle stehen bleiben, wenn der Druck von beiden Seiten gleich ist. Wird die eine Kugel mehr erwärmt als die andere, so wird der Index gegen die kältere Kugel hingetrieben.

Leslie's Differentialthermometer, Fig. 536 (a. v. S.), ist auf ähnliche Weise construirt, nur sind seine Kugeln in der Regel etwas kleiner, die verticalen Arme der sie verbindenden Röhre sind länger und stehen einander näher.

Melloni's Thermomultiplicator besteht aus einer thermoelektrischen Säule, Fig. 537, wie sie schon früher beschrieben wurde, und aus einem sehr empfindlichen Multiplicator. Die Säule ist sorgfältig an beiden Enden mit Ruß geschwärzt und mit ihrer Fassung p, Fig. 538, auf ein Stativ gebracht; die Hülsen a und b dienen dazu, die Luftströmungen und die Seitenstrahlungen von der Säule abzuhalten; da die Hülse b conisch ist, so dient sie auch, um, wenn es nöthig ist, von dieser Seite her die Wärmestrahlen mehr zu concentriren. Der Kupferdraht, welcher das Galvanometer bildet, ist 7 bis 8 Meter lang und ist mit ungefähr 40 Windungen auf einen Metallrahmen aufgewunden. Im Uebrigen ist die Einrichtung des Multiplicators bereits bekannt.

Fig. 537.

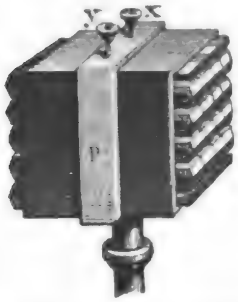
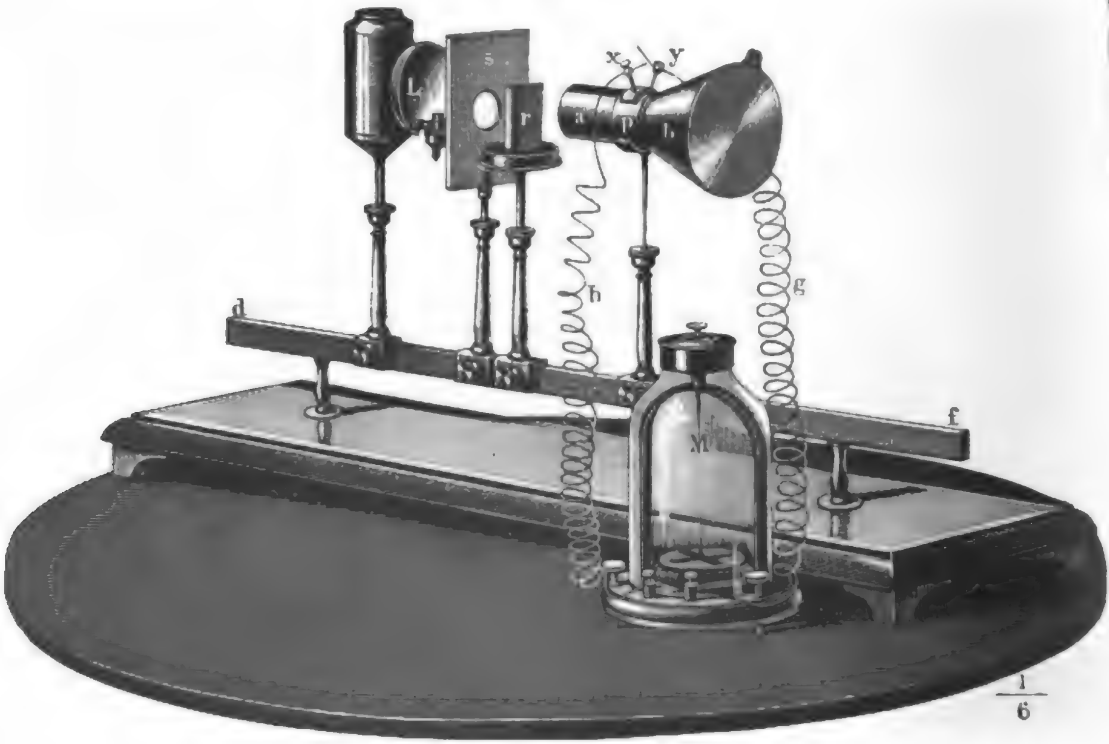


Fig. 538.



Um die Verbindung zwischen der thermoelektrischen Säule und dem Multiplicator herzustellen, dienen die leicht ausdehnbaren Drahtspiralen g und h, welche bei x und y mit den beiden Enden der thermoelektrischen Säule in leitender Verbindung stehen. Die geringste Temperaturdifferenz zwischen den beiden

geschwärzten Enden der Säule bewirkt nun schon eine Ablenkung der Nadel, die man auf dem getheilten Kreise ablesen kann.

Wärmestrahlungsvermögen der Körper. Das Vermögen 267
der Körper, die Wärme auszustrahlen, ist sehr ungleich und hängt wesentlich von dem Zustande der Oberflächen ab; im Allgemeinen strahlen die Oberflächen der weniger dichten Körper unter sonst gleichen Umständen mehr Wärme aus als die Oberflächen dichter Körper. Die Ungleichheit des Strahlungsvermögens verschiedener Oberflächen hat Leslie folgendermaßen nachgewiesen: Er brachte in den Brennpunkt des einen Hohlspiegels, Fig. 534 S. 496, die eine Kugel seines Differentialthermometers, in den Brennpunkt des anderen aber einen hohlen, mit heißem Wasser gefüllten Würfel von Messingblech, dessen Seitenlänge 15 bis 18 Centimeter betrug; die eine Seitenfläche dieses Würfels war mit Ruß überzogen, eine andere polirt; wurde nun die polirte Fläche dem Spiegel zugekehrt, so war die Wirkung auf das Differentialthermometer bei Weitem geringer, als wenn man die berußte Fläche dem Spiegel zukehrte, die mit Ruß geschwärzte Fläche strahlt also mehr Wärme aus als die polirte Metallfläche.

Diese Methode ist zwar ganz geeignet, um die Unterschiede im Strahlungsvermögen sichtbar zu machen; um aber genauere Vergleichungen anzustellen, ist Melloni's Verfahren bei Weitem vorzüglicher; er stellte in passender Entfernung von der Thermosäule einen Hohlwürfel von Messingblech auf, dessen Seite 7 bis 8 Centimeter lang und welcher mit heißem Wasser gefüllt war, welches durch eine Weingeistlampe auf constanter Temperatur erhalten wurde; die Seitenflächen dieses Würfels waren auf verschiedene Weise präparirt, nämlich eine mit Ruß, eine mit Bleiweiß, eine mit Tusch überzogen und eine polirt. Je nachdem die eine oder die andere Seitenfläche der Thermosäule zugekehrt ist, sind die Ablenkungen der Nadel sehr ungleich; aus den beobachteten Ablenkungen ergiebt sich dann ohne Weiteres das Verhältniß, in welchem die Emissionsfähigkeit der verschiedenen Flächen zu einander steht. Auf diese Weise wurde das Ausstrahlungsvermögen folgender Körper bestimmt:

Kienruß . . .	100	Tusch . . .	85
Bleiweiß . . .	100	Metallfläche .	12.

Wenn man also mit 100 das Ausstrahlungsvermögen des Kienrußes bezeichnet, so ist das Ausstrahlungsvermögen einer polirten Metallfläche gleich 12, also nur $\frac{12}{100}$ von dem der Kienrußfläche.

Absorption der Wärmestrahlen. Jeder Körper hat das Ver- 268
mögen, Wärmestrahlen, die, von einem anderen Körper kommend, ihn treffen, mehr oder weniger zu absorbiren; dies ergiebt sich schon aus den eben besprochenen Versuchen; denn die Körper erwärmen sich in dem Brennpunkte des einen Hohlspiegels nur deshalb, weil sie die Wärmestrahlen absorbiren, welche durch die Spiegel auf ihnen concentrirt werden. Daß dies Vermögen aber allen Körpern

zukommt, ergiebt sich daraus, daß alle, den Sonnenstrahlen ausgesetzt, eine Temperatur annehmen, welche höher ist als die Temperatur der Luft.

Das Absorptionsvermögen ist nicht für alle Körper gleich, was schon daraus hervorgeht, daß sie nicht gleiches Emissionsvermögen haben; denn eine Oberfläche, welche leicht Wärmestrahlen aussendet, muß umgekehrt auch die Fähigkeit haben, diese Strahlen einzusaugen. Die Ungleichheit des Absorptionsvermögens läßt sich schon durch einen einfachen Versuch zeigen: Man setze nur ein Thermometer, dessen Kugel geschwärzt ist, den Sonnenstrahlen aus, so wird es weit höher steigen als ein anderes, dessen Kugel nicht geschwärzt ist; die geschwärzte Oberfläche der einen Thermometerkugel absorbirt also offenbar mehr Wärmestrahlen als die glänzende Oberfläche der anderen.

Die von einem Körper absorbirten Wärmestrahlen sind es also, welche ihn erwärmen; wenn demnach ein Körper durch Wärmestrahlung möglichst stark erwärmt werden soll, so muß man ihn mit einem Ueberzuge versehen, welcher die Wärmestrahlen stark absorbirt; man überzieht deshalb auch alle Thermoskope, welche dazu dienen sollen, die Wirkungen der Wärmestrahlung recht merklich zu machen, die Kugeln der Differentialthermometer, die beiden Enden der thermoelektrischen Säule u. s. w. mit Ruß, weil dieser unter allen bekannten Körpern das stärkste Absorptionsvermögen hat.

Wir haben oben gesehen, daß glänzende Metallflächen nur ein sehr geringes Emissionsvermögen besitzen, und daraus folgt, daß sie die Wärmestrahlen auch nur in einem sehr geringen Maße einzusaugen im Stande sind.

269 **Reflexion und Diffusion der Wärmestrahlen.** Im Allgemeinen haben die Körper die Fähigkeit, einen Theil der sie treffenden Wärmestrahlen ganz in der Weise zurückzuwerfen, wie auch die Lichtstrahlen regelmäßig oder unregelmäßig reflectirt werden. Die Spiegel, die zu den obigen Versuchen dienten, geben uns einen entscheidenden Beweis für die Reflexion der Wärmestrahlen; denn sie erwärmen sich selbst bei dem Versuche mit dem Zunder nicht. Ein einfacher Schluß überzeugt uns, daß die meisten Körper dieses Reflexionsvermögen besitzen müssen und daß es dem Absorptionsvermögen so zu sagen complementär ist; denn die Summe der absorbirten und der reflectirten Wärmestrahlen muß doch offenbar der Gesammtheit der einfallenden Strahlen gleich sein, vorausgesetzt, daß der Körper keine Wärmestrahlen durchläßt. Wenn also das Reflexionsvermögen größer ist, so ist das Absorptionsvermögen geringer, und umgekehrt. Ein Körper, der gar keine Wärmestrahlen reflectirt, muß alle Strahlen absorbiren, wie dies in der That bei solchen Oberflächen der Fall ist, die man sorgfältig mit Ruß überzogen hat; polirte Metallflächen dagegen, welche ein großes Reflexionsvermögen besitzen, absorbiren nur sehr wenig Wärmestrahlen.

Die Wärmestrahlen werden ganz nach denselben Gesetzen reflectirt wie die Lichtstrahlen, d. h. der Reflexionswinkel ist dem Einfallswinkel gleich; dies geht schon aus den Versuchen mit den Hohlspiegeln hervor, da ja die Brennpunkte für die Wärmestrahlen mit denen der Lichtstrahlen zusammenfallen.

Sowie an der Oberfläche eines nicht ganz vollständig polirten Körpers Lichtstrahlen nach allen Seiten unregelmäßig zerstreut werden, so erleiden auch die Wärmestrahlen an der Oberfläche der meisten Körper eine Diffusion. Man kann sich davon durch folgenden Versuch überzeugen. Man lasse durch eine Oeffnung in dem Laden eines dunklen Zimmers Sonnenstrahlen auf eine der Oeffnung gegenüberliegende Wand fallen, so wird der erleuchtete Fleck derselben, welcher von allen Seiten her sichtbar ist, weil er das Sonnenlicht nach allen Seiten hin zerstreut, auch die Wärmestrahlen unregelmäßig zerstreuen, also nach allen Seiten hin Wärmestrahlen aussenden, als ob er selbst eine Wärmequelle wäre. Diese Diffusion der Wärmestrahlen wird sichtbar, wenn man dem hellen Flecke die thermoelektrische Säule zukehrt; man erhält einen Ausschlag der Nadel, an welcher Stelle des Zimmers man auch das Instrument aufstellen mag; die Wirkung kann also nicht von einer regelmäßigen Reflexion herrühren; daß sie aber auch nicht die Folge einer Erwärmung der von den Sonnenstrahlen beschienenen Stelle der Wand ist, geht daraus hervor, daß die Nadel auf der Stelle wieder auf den Nullpunkt der Theilung zurückgeht, sobald man die Oeffnung im Laden verschließt.

Fähigkeit der Körper, Wärmestrahlen durchzulassen. 270

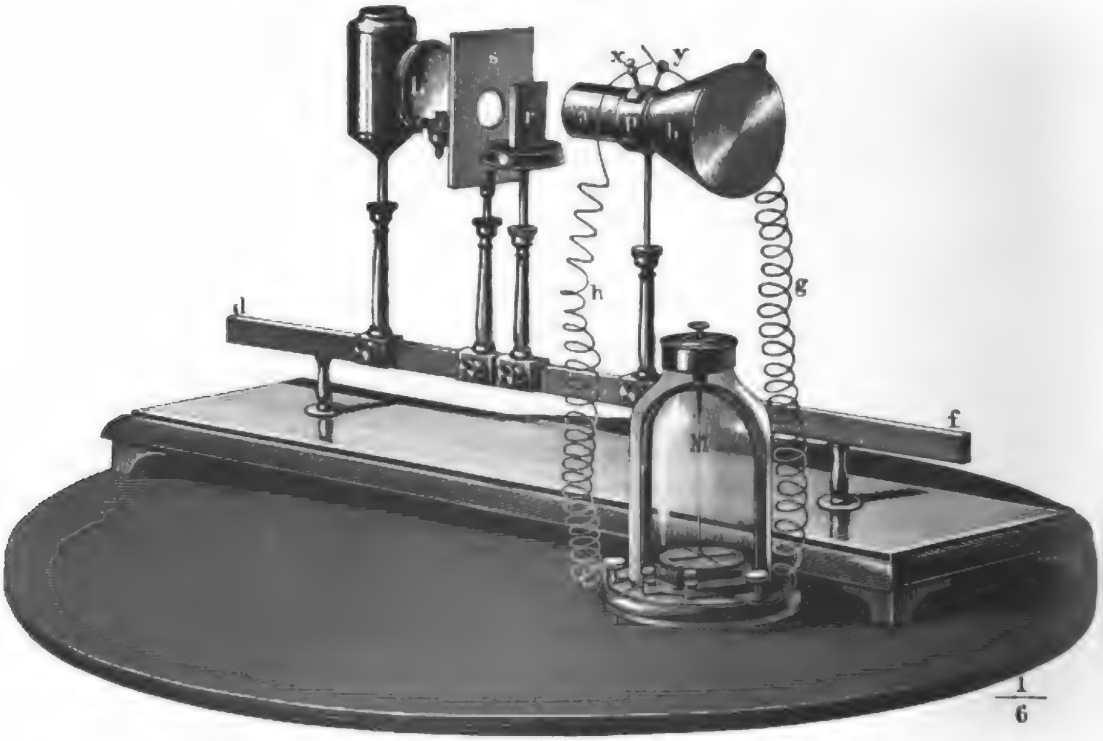
Daß feste Körper Wärmestrahlen in derselben Weise durchlassen können wie durchsichtige Körper die Lichtstrahlen, geht schon daraus hervor, daß man im Stande ist, brennbare Körper zu entzünden, wenn man sie in den Brennpunkt einer den Sonnenstrahlen ausgesetzten Linse hält. Genauere Untersuchungen darüber wurden erst durch die thermoelektrische Säule möglich, und Melloni hat mit Hülfe derselben eine Reihe höchst wichtiger Resultate über den Durchgang der Wärmestrahlen durch verschiedene Körper erhalten.

Diejenigen Körper, welche die Wärmestrahlen aufhalten, wie die undurchsichtigen Körper die Lichtstrahlen, nennt Melloni atherman; solche Körper hingegen, welche sich gegen die Wärmestrahlen verhalten wie die durchsichtigen Körper gegen die Lichtstrahlen, nennt er diatherman. Die Luft ist also ein diathermaner Körper, und wir werden sogleich sehen, daß auch sehr viele feste und flüssige Körper, wenn auch nur in sehr ungleichem Maße, diatherman sind.

Die Versuche werden in folgender Weise angestellt. Die Wärmequelle, etwa eine kleine Oellampe, oder ein mit heißem Wasser gefüllter Hohlwürfel von Messingblech, an welchem eine Seite berußt ist, damit sie die Wärme besser ausstrahlt, wird so gestellt, daß sie eine Ablenkung der Nadel von 30° hervorbringt; werden nun die Wärmestrahlen durch eine bei *r*, Fig. 539 (a. f. S.), aufgestellte Platte des zu untersuchenden Körpers aufgefangen, so geht die Nadel bald mehr, bald weniger zurück, und so ergiebt sich, daß gleich dicke und gleich durchsichtige Platten verschiedener Stoffe nicht gleiche Mengen strahlender Wärme durchlassen. Bewirkt z. B. die freie Strahlung der Wärmequelle eine Ablenkung von 30°, so wird die Nadel auf 28° zurückgehen, wenn man eine 3 bis 4 Millimeter dicke Steinsalzplatte bei *r* aufstellt, während eine gleich dicke Quarzplatte die Nadel auf 15 bis 16° zurückgehen macht; das Steinsalz läßt

alſo die Wärmeſtrahlen bei Weitem beſſer durch als der Bergkryſtall. Manche weniger durchſichtige Körper laſſen ſogar die Wärmeſtrahlen beſſer durch als andere, die ganz durchſichtig ſind. Während z. B. eine ganz durchſichtige

Fig. 539.



Alaunlampe die Ablenkung der Nadel von 30° auf 3 bis 4° reducirt, bringt eine noch weit dickere Platte von Rauchtopas die Nadel nur auf 14 bis 15° zurück. Ja mancher faſt ganz undurchſichtige Körper, wie ſchwarzes Glas und ſchwarzer Glimmer, laſſen noch ziemlich viele Wärmeſtrahlen durch.

Läßt man die Wärmeſtrahlen, welche durch eine Glasplatte gegangen ſind, auf eine Alaunplatte fallen, ſo werden ſie gänzlich abſorbirt, während doch eine Alaunplatte faſt alle Wärmeſtrahlen durchläßt, welche zuvor durch eine Platte von Citronenſäure gegangen ſind. Dieſe Erſcheinung hat die größte Aehnlichkeit mit dem Durchgange des Lichtes durch gefärbte Mittel; Lichtſtrahlen, welche durch ein grünes Glas gegangen ſind, werden bekanntlich von anderen grünen Gläſern leicht durchgelaſſen, ſie werden aber abſorbirt, wenn man ſie auf ein rothes Glas fallen läßt; die Unterſchiede zwiſchen den Wärmeſtrahlen ſind alſo den Verſchiedenheiten der Farben beim Lichte ganz analog.

Aehnliches hat man auch in Beziehung auf das Emiſſionsvermögen und Abſorptionsvermögen der Körper bemerkt.

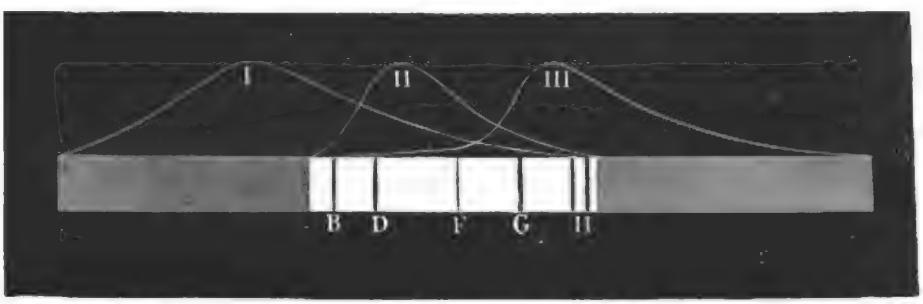
Die Wärmeſtrahlen ſind brechbar wie die Lichtſtrahlen, was ſich am beſten mit Hülfe eines Prismas von Steinſalz nachweiſen läßt. Auch Polariſationserſcheinungen hat man bei den Wärmeſtrahlen nachgewieſen.

Wärmeverhältnisse des Sonnenspectrums. Das Licht der 271
Sonnenſtrahlen iſt von chemiſchen und thermiſchen Effecten begleitet. Wir haben bereits oben Seite 318 geſehen, daß die blauen und violetten Strahlen des Spectrums die kräftigſten chemiſchen Wirkungen hervorbringen, ja daß ſich die chemiſchen Effecte noch über die violette Gränze des Spectrums hinaus erſtrecken, d. h. daß es Strahlen giebt, welche noch brechbarer ſind, die alſo noch raſcher vibriren als die äußerſten ſichtbaren violetten Strahlen; die chemiſchen Wirkungen des rothen und gelben Lichtes ſind dagegen ſehr unbedeutend. Den Gegenſatz zu dieſem Verhältniſſe zeigen die thermiſchen Wirkungen im Sonnenſpectrum. Die wärmende Kraft der blauen und violetten Strahlen iſt äußerſt gering, die der rothen und gelben dagegen ſehr bedeutend. Wie die chemiſchen Wirkungen ſich noch über die violette, ſo erſtrecken ſich auch die thermiſchen noch über die rothe Gränze des Spectrums hinaus, d. h. es giebt Strahlen, welche weniger brechbar als die rothen vom Auge nicht wahrgenommen werden, welche aber doch erwärmende Eigenſchaften haben, und welche wir als dunkle Wärmeſtrahlen bezeichnen können. Die Wärmeſtrahlen, welche ein geheizter eiſerner Ofen ausſtrahlt, ſind ſolche dunkle Wärmeſtrahlen; ihre Vibrationsgeſchwindigkeit iſt dem Geſagten zu Folge noch geringer, ihre Wellenlänge alſo noch größer als die der äußerſten rothen Strahlen.

In dem Spectrum eines Steinſalzprismas liegt das Maximum des Wärmeeffectes nicht im ſichtbaren Theile, ſondern in der ultrarothen Verlängerung.

In Fig. 540 ſtellt die Curve I die Intenſitätsverhältniſſe des Wärmeſpectrums, II die des Lichtſpectrums und III die des chemiſchen Spectrums dar.

Fig. 540.



Man erſieht aus dieſer Figur, wie das Maximum des thermiſchen Effectes noch jenſeits der rothen Gränze des ſichtbaren Spectrums liegt. Die größte Lichtſtärke des Spectrums findet ſich im Gelb, in der Nähe der Fraunhofer'ſchen Linie *D*. Das Maximum des chemiſchen Effectes endlich liegt im Indigo, zwiſchen den Fraunhofer'ſchen Linien *G* und *H*.

Während die Wellenlänge der violetten Strahlen ungefähr 0,0004^{mm}, die der äußerſten rothen ungefähr 0,0007^{mm} beträgt, iſt nach Eſſelbach's Meſſungen die Wellenlänge der äußerſten chemiſchen Strahlen 0,0003^{mm}, und nach meinen Verſuchen die Wellenlänge der äußerſten dunklen Wärmeſtrahlen 0,0018^{mm}.

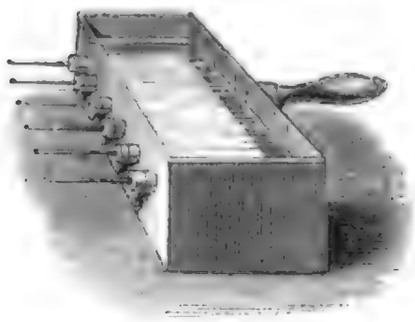
Die Gesammtheit der Sonnenstrahlen umfaßt demnach nahezu $2\frac{1}{2}$ Octaven, von welchen nicht ganz eine Octave (von 0,0004 bis 0,0007 Millimeter) auf das sichtbare Spectrum fällt.

272 **Verbreitung der Wärme durch Leitung.** Nicht allein durch Strahlung, sondern auch bei unmittelbarer Berührung kann die Wärme von einem Körper zum anderen übergehen und sich alsdann durch seine ganze Masse hindurch verbreiten; doch findet in Beziehung auf die Leichtigkeit, mit welcher die Wärme in einen Körper übergeht und sich durch seine Masse verbreitet, eine große Ungleichheit zwischen verschiedenen Stoffen Statt; in manchen verbreitet sich die Wärme außerordentlich leicht, während in anderen dieselbe weniger leicht von einem Theilchen zum anderen übergeht. Ein Schwefelhölzchen, welches an einem Ende brennt, kann man am anderen Ende noch zwischen den Fingern halten, ohne nur eine Temperaturerhöhung des Holzes zu fühlen; die hohe Temperatur des brennenden Endes theilt sich also nicht so leicht der übrigen Masse des Holzes mit, das Holz ist ein *schlechter Wärmeleiter*; einen gleichlangen Metalldraht aber, den man an dem einen Ende glühend gemacht hat, kann man am anderen Ende nicht anfassen, ohne sich zu verbrennen, die Wärme verbreitet sich also leicht von dem glühenden Ende aus durch das ganze Stäbchen, das Metall ist also ein *guter Wärmeleiter*.

Ein Stück Eisen und ein Stück wollenes Tuch, welche eine kalte Winternacht hindurch im Freien lagen, haben gewiß eine gleich niedrige Temperatur, und doch fühlt sich das Eisen ungleich kälter an, weil es der Hand die Wärme ungleich rascher entzieht als die Wolle.

Um zu zeigen, wie ungleich die Fähigkeit verschiedener Körper ist, die Wärme fortzuleiten, kann man den in Fig. 541 dargestellten, von *Ingenhouß* angegebenen Apparat anwenden. In die eine Seitenwand eines Kastens von Blech sind mehrere, aus den zu vergleichenden Substanzen verfertigte Stäbchen eingesteckt, welche sämmtlich gleichen Durchmesser haben müssen und sämmtlich mit einer Schicht von Wachs überzogen sind; wenn man nun kochendes Wasser oder heißes Oel in den Kasten gießt, so wird die Wärme auch mehr oder weniger weit in die Stäbchen vordringen und den Wachsüberzug schmelzen. Nehmen wir an, das eine Stäbchen sei von Kupfer, eines von Eisen, ein drittes von Blei, das vierte von Glas, das letzte von Holz, so wird die Wachsschicht des Kupferstäbchens schon vollständig bis ans Ende geschmolzen sein, während bei allen anderen Stäbchen die Schmelzung des Wachses noch nicht so weit vorgeschritten ist; das Kupfer ist also unter diesen fünf Körpern der beste Wärmeleiter. Für das Eisenstäbchen schreitet die Schmelzung des Wachses rascher voran als für das Bleistäbchen, und während das Wachs auf dem Kupferstabe ganz weggeschmolzen ist, ist die Wachsschicht auf dem Glasstabe nur auf eine sehr unbedeutende

Fig. 541.



Strecke geschmolzen, an dem Holzstäbchen ist aber kaum ein Anfang des Schmelzens wahrzunehmen, das Holz ist also in der That unter diesen Körpern der schlechteste Wärmeleiter.

Unter allen Körpern sind die Metalle die besten, Asche, Seide, Haare, Stroh, Wolle u. s. w., überhaupt die lockeren Körper die schlechtesten Wärmeleiter.

Im praktischen Leben machen wir von der guten oder schlechten Wärmeleitungsfähigkeit verschiedener Körper zahlreiche Anwendungen. Gegenstände, die man vor der Erkaltung schützen will, umgiebt man mit schlechten Wärmeleitern; man umwickelt Bäume und Sträuche des Winters mit Stroh, um sie vor dem Erfrieren zu schützen; unsere Kleider halten warm, weil sie aus schlechten Wärmeleitern verfertigt sind. In einem kupfernen Gefäße bringt man unter sonst gleichen Umständen eine Flüssigkeit weit eher ins Kochen als in einem Porzellangefäße von derselben Wanddicke.

Wärmeleitungsfähigkeit der Flüssigkeiten und Gase. 273

In den Flüssigkeiten verbreitet sich die Wärme meistens durch Strömungen, welche dadurch entstehen, daß die erwärmten Theilchen wegen ihrer geringeren Dichtigkeit immer in die Höhe steigen. Man kann diese Strömungen leicht sichtbar machen, wenn man Sägespäne in Wasser wirft, welches sich in einem Glasgefäße befindet, und dann von unten her langsam erwärmt, Fig. 542. Man sieht, wie die Strömung in der Mitte aufwärts, an der Seite abwärts gerichtet ist. Wenn man eine Flüssigkeit von oben her erwärmt, so daß das hydrostatische Gleichgewicht nicht gestört wird, so kann sich die Wärme nur in derselben Weise durch die Masse der Flüssigkeit verbreiten, wie dies bei festen Körpern der Fall ist, nämlich durch Leitung, indem die Wärme von einer Schicht zur anderen übergeht. In solchen Fällen verbreitet sich die Wärme aber nur sehr langsam durch die Masse der Flüssigkeit, **die Flüssigkeiten sind also sehr schlechte Wärmeleiter.**

Fig. 542.

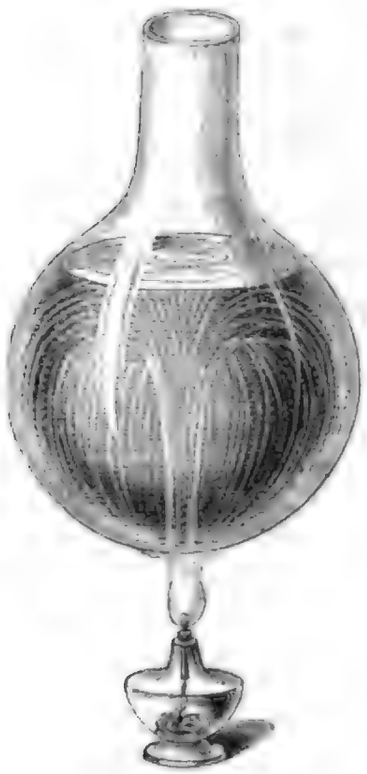
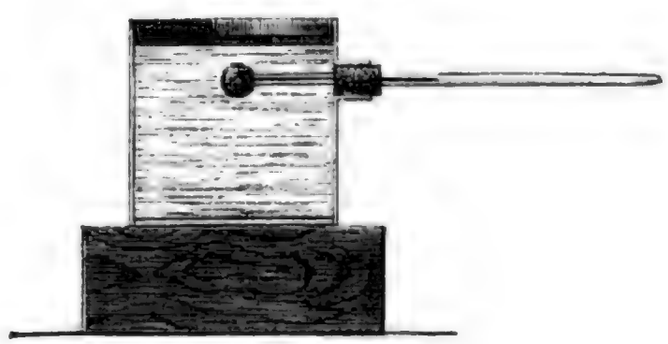


Fig. 543.



Um sich von der schlechten Leitungsfähigkeit des Wassers zu überzeugen, kann man den in Fig. 543 (a. v. S.) abgebildeten Versuch anstellen. In die Seitenwand eines aus dünnem Blech verfertigten Gefäßes wird mittelst eines Korkes auf der Seite ein Thermometer eingesetzt und dann das Gefäß so weit voll Wasser gegossen, daß sich die Thermometerkugel ungefähr 2 Linien unter dem Wasserspiegel befindet. Gießt man nun heißes Oel auf das Wasser, oder etwas Weingeist, den man anzündet, so wird es doch eine geraume Zeit dauern, ehe das Thermometer eine merkliche Temperaturerhöhung zeigt.

Wenn man in ein mit kaltem Wasser gefülltes Reagenzröhrchen ein Stückchen Eis wirft, welches mit etwas Draht umwickelt ist, damit es zu Boden sinkt, so kann man in der oberen Hälfte des schräg gehaltenen Röhrchens das Wasser über einer Weingeistlampe ins Kochen bringen, ohne daß unten ein merkliches Wegschmelzen des Eises stattfindet.

Despretz hat die Leitungsfähigkeit des Wassers bestimmt, indem er Wassersäulen von 1 Meter Höhe und 0,2 bis 0,4 Meter Durchmesser von oben her durch beständige Erneuerung von heißem Wasser erwärmte. Es dauerte ungefähr 30 Stunden, bis die Temperatur der Wassersäule an allen Stellen stabil wurde. Aus diesen Versuchen folgt, daß die Wärmeleitungsfähigkeit des Wassers ungefähr 96mal geringer ist als die des Kupfers.

Die Luft und die Gase überhaupt sind ebenfalls sehr schlechte Wärmeleiter, doch läßt sich ihr Wärmeleitungsvermögen durch Thermometer, die man etwa in verschiedenen Schichten der zu untersuchenden Luftmasse anbringen wollte, wegen der Wärmestrahlung nicht ermitteln. Daß jedoch die Gase überhaupt und die Luft insbesondere schlechte Wärmeleiter sind, geht daraus hervor, daß Körper, welche von allen Seiten von Luftschichten umgeben sind, nur sehr langsam erwärmt und erkaltet werden können, wenn nur der Wechsel der Luftschichten verhindert wird. Dadurch erklärt sich die Wirksamkeit der doppelten Fenster und der doppelten Thüren, um ein Zimmer warm zu halten. Das schlechte Leitungsvermögen lockerer Körper, wie Stroh, Wolle u. s. w., rührt größtentheils daher, daß die zahllosen Zwischenräume mit Luft ausgefüllt sind. Solche Körper, von denen wir sagen, daß sie warm halten, wie z. B. unsere Kleider, Stroh, sind nicht selbst warm, ihre Wirkung beruht nur auf ihrer schlechten Wärmeleitungsfähigkeit: wenn man Eis in solche Körper einhüllt, so verhindern sie das Schmelzen desselben, weil sie die äußere Wärme abhalten.

Fünftes Capitel.

Quellen der Wärme.

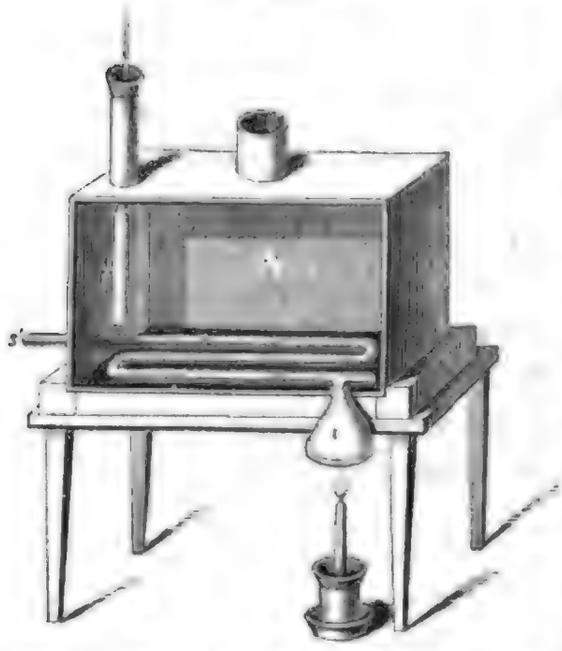
Wärmeerzeugung durch chemische Verbindungen. 274

Nach der Sonne sind für uns die chemischen Verbindungen die wichtigsten Wärmequellen. Fast jeder chemische Proceß ist von einer Wärmeentwickelung begleitet.

Von ganz besonderer Wichtigkeit ist die Entwickelung der Wärme, welche durch Verbrennung, also durch eine rasche Verbindung der Körper mit Sauerstoff, entwickelt wird.

Um die durch Verbrennung entwickelte Wärme zu bestimmen, bediente sich Rumford des in Fig. 544 abgebildeten Apparates; der Kasten *A* ist mit Wasser gefüllt, durch welches ein Schlangenrohr hindurchzieht. Der Eingang in das Schlangenrohr ist durch einen Trichter gebildet, unter welchen die zu verbrennenden Körper gebracht werden. Mit Oel und Alkohol ist der Versuch leicht anzustellen; man füllt sie nämlich in eine kleine Lampe, die man zu Anfang und zu Ende des Versuches wägt, um die Menge des verbrannten Materials zu erfahren. Die Flamme und die Producte der Verbrennung ziehen durch das Schlangenrohr hindurch und erwärmen das Wasser des Apparates. Aus der Temperaturerhöhung, welche das Wasser mit dem ganzen Apparate erfährt, läßt sich dann die Wärmemenge, welche durch die Verbrennung erzeugt wurde, berechnen; doch darf man dabei die Wärme nicht unberücksichtigt lassen, mit welcher die gasförmigen Producte der Verbrennung aus dem Schlangenrohre austreten.

Fig. 544.



Durch solche Versuche ergab sich, daß durch die Wärme, welche entwickelt wird bei

der Verbrennung von 1 Gramm	die Temperatur von 1 Kilogramm Wasser erhöht werden kann um
Wasserstoffgas	36,40°
Oelbildendes Gas	12,20
Absoluter Alkohol	6,96
Kohle	7,29
Wachs	10,50
Rüböl	9,31
Talg	8,37

275 **Thierische Wärme.** Die Temperatur der Blutwärme aller Thiere ist fast immer von der Temperatur des Mittels verschieden, welches sie umgiebt. Die Thiere der Polarländer sind stets wärmer als das Eis, auf welchem sie leben, in den Aequatorialgegenden aber sind sie oft kälter als die glühende Luft, welche sie einathmen. Die Vögel haben nie die Temperatur der Luft, die Fische nie die Temperatur des Wassers, von welchem sie umgeben sind; der thierische Körper hat also seine eigenthümliche Wärme, er muß sie also auch fortwährend erzeugen können.

Die innere Wärme des Menschen scheint für alle Organe dieselbe und zwar derjenigen gleich zu sein, auf welche ein kleines Thermometer steigt, wenn man die Kugel unter die Zunge bringt und den Mund schließt, bis es nicht mehr steigt; diese Temperatur ist 37° C. Alter und Klima, Gesundheit oder Krankheit können diese Temperatur nur unbedeutend ändern.

Die Blutwärme der Vögel ist größer als bei allen anderen Thieren, sie beträgt im Durchschnitt 42°; die Blutwärme der Säugethiere ist der des Menschen sehr nahe gleich. Bei den Vögeln und Säugethieren ist die Blutwärme von der Temperatur der Umgebung unabhängig; bei den übrigen Thierclassen aber, den Amphibien, Fischen u. s. w., ist die Temperatur des Körpers nur wenig von der Temperatur der Umgebung verschieden.

Welches ist nun die Quelle der thierischen Wärme? Die Luft, welche wir einathmen, wird in derselben Weise verändert wie die Luft, welche zur Verbrennung gedient hat: statt des eingeathmeten Sauerstoffs hauchen wir Kohlensäure aus, es findet also im Körper eine förmliche Verbrennung Statt. Seit Lavoisier diese Entdeckung gemacht hatte, war die Quelle der thierischen Wärme kein Geheimniß mehr.

Durch die Speisen wird dem Blute der Kohlenstoff zugeführt, welcher sich vorzugsweise in den capillaren Verzweigungen der Adern mit dem Sauerstoff der eingeathmeten Luft verbindet; durch die Oxydation des Kohlenstoffs im Thierkörper muß aber nothwendig dieselbe Wärmemenge erzeugt werden, als ob der Kohlenstoff durch schnelle Verbrennung in Kohlensäure verwandelt worden wäre.

In einer kalten Umgebung verliert der Mensch und das Thier stets mehr Wärme als in wärmerer; da aber die Blutwärme bei den Säugethieren und Vögeln von der Temperatur der Luft unabhängig ist, so ist klar, daß im Kör-

per mehr Wärme erzeugt werden muß, wenn ihm in jedem Augenblicke eine größere Wärmemenge entzogen wird, wenn er also in kalter Luft lebt, als wenn er in wärmerer Umgebung nur wenig Wärme nach außen hin abgiebt. Um aber in gleichen Zeiten mehr Wärme erzeugen zu können, muß dem Körper mehr Kohlenstoff zugeführt werden, durch dessen Oxydation die Wärme erzeugt wird, wie man ja auch bei kaltem Wetter mehr Brennmaterial im Ofen verbrennen muß, um ein Zimmer auf einer bestimmten constanten Temperatur zu erhalten, als bei gelinder Kälte. Dadurch erklärt sich nun, warum der Nordländer mehr Speisen und besonders mehr kohlenstoffhaltige Speisen zu sich nehmen muß als der Bewohner der heißen Zone.

Wärmeentwickelung durch mechanische Mittel. Wir 276
haben bereits in Paragraph 265 ein Beispiel der Wärmeentwickelung auf mechanischem Wege kennen gelernt, nämlich das Freiwerden von Wärme durch Compression der Luft. In gleicher Weise ist die Compression eines jeden Körpers von einer mehr oder minder bedeutenden Wärmeentwickelung begleitet.

Wie die Zusammendrückung eines Körpers, so ist aber auch jede Reibung von einer Wärmeentwickelung begleitet, und in der That ist die Reibung dasjenige Mittel, durch welches sich der Mensch in weitaus den meisten Fällen Feuer zu verschaffen weiß. Durch eine zweckmäßige Reibung von Holzstücken macht der Indianer sein Feuer an. Das Feuerschlagen mit Stahl und Stein beruht lediglich auf der Wärmeentwickelung durch Reibung, und eine geringe Reibung ist es auch, durch welche wir unsere Zündhölzchen zum Brennen bringen.

Die durch Reiben entwickelte Wärme kann unter Umständen sehr bedeutend werden. Ein eiserner Radschuh erhitzt sich oft so, daß er zischt, wenn er mit Wasser in Berührung kommt, ja an einem rasch laufenden Schleifsteine von großem Durchmesser soll ein eiserner Nagel glühend werden.

Theoretische Ansichten über die Wärme. Wir haben nun 277
die wichtigsten Gesetze der Wärmeerscheinungen kennen gelernt, ohne daß die Rede davon gewesen wäre, was denn eigentlich die Wärme sei. In dieser Beziehung ist also die Wärmelehre ganz so behandelt worden, wie der erste Theil der Lehre vom Lichte, wo auch die empirischen Gesetze der Spiegelung und Brechung entwickelt wurden, ohne weiter nach dem Wesen des Lichtes zu fragen; eine Theorie aber, aus welcher sich alle Wärmeerscheinungen nicht nur der Art, sondern auch der Größe nach so vollständig ableiten lassen, wie die Lichtphänomene aus der Wellentheorie, fehlt bis jetzt noch.

Gewöhnlich stellt man sich die Wärme als einen imponderabelen Stoff vor, welcher die Körper durchdringt; diese Vorstellung paßt sich mancher Erscheinung, wie z. B. der Wärmebindung, der Wärmecapacität, ganz gut an, sie giebt uns für diese Erscheinungen ein ganz gutes Bild, ja die Ausdrücke sind auch mit Zugrundelegung dieser Ansicht geschaffen. Wenn sich aber auch die Erscheinungen der Wärmecapacität, der latenten Wärme, die Wärmeleitung ganz gut mit der Vorstellung des Wärmestoffes vertragen, so ist es doch auf der anderen Seite

höchſt unwahrſcheinlich, daß es einen ſolchen gebe, wie denn wohl überhaupt imponderabele Stoffe im älteren Sinne des Wortes aus der Phyſik verſchwinden werden, wie es beim Lichte ſchon der Fall iſt. In der Wärmelehre ſteht der große Schritt, welcher der Einführung der Vibrationstheorie beim Lichte entſpricht, wohl am nächſten bevor.

Einige Erſcheinungen ſind mit der Annahme des Wärmeſtoffes gar nicht zu vereinigen: die Wärmeſtrahlung und Erzeugung der Wärme durch Reibung.

Die Geſetze der ſtrahlenden Wärme ſind denen der Lichtſtrahlung ſo ähnlich, daß die Idee nahe liegt, auch die Wärmeſtrahlung einer Aethervibration zuzuſchreiben. Wenn aber die ſtrahlende Wärme durch Vibrationen des Aethers ſich fortpflanzt, ſo müßte die fühlbare Wärme durch Vibrationen der materiellen Theile der Körper ſelbſt hervorgebracht werden.

Daß die Wärmeerſcheinungen in der That von ſolchen Vibrationen herrühren, iſt höchſt wahrſcheinlich, obgleich wir noch nicht im Stande ſind, alle Erſcheinungen der Wärme aus dieſer Hypotheſe nur einigermaßen genügend abzuleiten, und wir die Vorſtellung eines Wärmeſtoffes zur leichteren Darſtellung und Ueberſicht noch nicht wohl entbehren können.

Sechstes Buch.

Meteorologie.

Erstes Capitel.

Vertheilung der Wärme auf der Erdoberfläche.

Die Erwärmung der Erdoberfläche durch die Sonnenstrahlen. 278 Die Erwärmung der Erdoberfläche und der Atmosphäre, durch welche allein das Gedeihen der Pflanzen- und Thierwelt möglich ist, haben wir nur den Strahlen der Sonne zu danken, welche somit als die Quelle alles Lebens auf unserem Planeten betrachtet werden muß. — Wo die Mittagssonne vertical über den Köpfen der Bewohner steht, wo ihre Strahlen unter rechtem Winkel die Erdoberfläche treffen, da entwickelt sich eine üppige Vegetation, wenn eine zweite Bedingung ihrer Existenz, nämlich die Feuchtigkeit, nicht fehlt; wo aber die Sonnenstrahlen stets allzu schräg auffallen, um eine merkliche Wirkung hervorzubringen, da starrt die Natur von ewigem Eise, da hört alles Thier- und Pflanzenleben auf.

Indem die Sonnenstrahlen die Atmosphäre durchwandern, erleiden sie eine verhältnißmäßig geringe Absorption, weil die Luft ein sehr diathermaner Körper ist; jedenfalls ist die directe Erwärmung der Luft durch absorbirte Sonnenstrahlen eine sehr unbedeutende. Erst wenn die Sonnenstrahlen der Erdoberfläche selbst treffen, werden sie absorbirt und in fühlbare Wärme verwandelt. Durch den erwärmten Boden wird die Lufthülle der Erde von unten her erwärmt.

Die Erwärmung des Bodens hängt von der Richtung ab, in welcher die Sonnenstrahlen ihn treffen, und da diese Richtung eine nach bestimmten Gesetzen regelmäßig wechselnde ist, so ist klar, daß der Erwärmungszustand der Erdoberfläche und der unteren Schichten der Atmosphäre periodische Variationen erleiden muß, und zwar haben wir eine tägliche und eine jährliche Periode im Gange der Lufttemperatur (der Temperatur der unteren Luftschichten) zu unterscheiden.

Während der Erde durch die Sonnenstrahlen Wärme zugeführt wird, verliert sie auf der anderen Seite Wärme durch Ausstrahlung gegen die kälteren Himmelsräume. Im Allgemeinen halten sich Ein- und Ausstrahlung das Gleichgewicht, d. h. die Summe der Wärme, welche der Erde durch die Sonnenstrahlen zugeführt wird, ist derjenigen gleich, welche sie durch Ausstrahlung verliert. Dabei ist aber die Wärme über die Erdoberfläche weder gleichförmig noch unveränderlich vertheilt. Die höchste Erwärmung der Erdoberfläche und der

unteren Luftschichten finden wir in den Aequatorialgegenden, während es um so kälter wird, je mehr wir uns den Polen nähern. Fassen wir aber die Temperatur irgend eines bestimmten Ortes auf der Erdoberfläche ins Auge, so zeigt sich, daß sie beständigen Schwankungen unterworfen ist, indem in Folge der veränderlichen Stellung der Sonne gegen die Erdoberfläche bald die Einstrahlung, bald die Ausstrahlung das Uebergewicht gewinnt.

Da nun aber die Veränderungen, welche die Stellung der Sonne gegen die Erdoberfläche erfährt, an zwei Perioden, eine tägliche und eine jährliche, gebunden ist, so ist klar, daß auch die Variationen der Temperatur an irgend einem Orte der Erdoberfläche eine tägliche und eine jährliche Periode befolgen müssen.

279 **Die fünf Zonen.** Für verschiedene Gegenden der Erdoberfläche sind die Insolationsverhältnisse äußerst ungleich. Innerhalb der Wendekreise, wo Tag und Nacht das ganze Jahr hindurch fast gleich sind, wo die Sonne bei ihrem höchsten Mittagsstande das Zenith passirt, und wo die niedrigste Mittagshöhe mindestens 44° (die niedrigste Mittagshöhe der Sonne ist für die Wendekreise 43° 42′, für den Aequator 66° 32′) beträgt, wo also täglich die Sonnenstrahlen eine kräftige Wirkung ausüben können, muß auch stets eine hohe Lufttemperatur herrschen. Jener zwischen den Wendekreisen gelegene Aequatorialgürtel wird deshalb auch die *heiße Zone* genannt. Sie ist der Schauplatz des reichsten Thier- und Pflanzenlebens.

Den Gegensatz der heißen Zone bilden die Umgebungen der Pole.

Innerhalb der beiden von den Polarkreisen (66° 32′ nördlicher und südlicher Breite) begränzten Kugelabschnitte kommt die Sonne Tage, Wochen, Monate lang gar nicht über den Horizont, und auch dann nur, um ihre Strahlen in sehr schräger Richtung auf den Boden zu senden; hier also kann nur eine geringe Wärmeentwickelung stattfinden, und hier starrt deshalb auch fast das ganze Jahr hindurch die Natur in Schnee und Eis.

Der von dem nördlichen Polarkreise eingeschlossene Raum wird die *nördliche*, der von dem südlichen Polarkreise eingeschlossene Raum wird die *südliche kalte Zone* genannt.

Der Gürtel zwischen dem nördlichen Wendekreise und dem nördlichen Polarkreise bildet die *nördliche gemäßigte Zone*, gleich wie die *südliche gemäßigte Zone* sich vom südlichen Wendekreise bis zum südlichen Polarkreise erstreckt. Je mehr man in diesen gemäßigten Zonen gegen die Polarkreise vordringt, desto mehr nähern sich die Temperaturverhältnisse denen der kalten Zonen.

Im Allgemeinen also sind die Temperaturverhältnisse eines Ortes eine Function seines Abstandes vom Aequator, also seiner geographischen Breite, und wenn sie nur von den Insolationsverhältnissen bedingt wären, wenn nicht andere Factoren modificirend einwirkten, so müßte die mittlere Lufttemperatur gleich sein für alle Orte gleicher geographischer Breite. Wir werden bald sehen, *daß* und *warum* dies nicht der Fall ist.

Die täglichen Variationen der Lufttemperatur. Wenn 280
die Sonne, nachdem sie am östlichen Himmel aufgegangen ist, höher und höher über den Horizont sich erhebt, so muß die immer kräftiger wirkende Insolation ein Steigen der Lufttemperatur zur Folge haben. Wenn die Sonne ihren höchsten Stand erreicht hat, so ist jedoch die Temperatur der Erdoberfläche noch keineswegs so hoch gestiegen, daß sie eben so viel Wärme gegen den Himmelsraum ausstrahlen könnte, als sie durch die Sonnenstrahlen empfängt. Deshalb dauert das Steigen der Temperatur noch über Mittag fort, und erst 1 bis 2 Stunden nach der Culmination der Sonne, wenn ihre Höhe schon merklich abgenommen hat, tritt ein momentaner Gleichgewichtszustand zwischen Ein- und Ausstrahlung ein, das Maximum der täglichen Temperatur findet also erst um 1 bis 2 Uhr Nachmittags Statt. Von da an aber gewinnt bei immer mehr sinkender Sonne die Ausstrahlung das Uebergewicht, die Temperatur sinkt anfangs langsam, dann rascher in den Abendstunden. Während der Nacht, wo gar keine Einstrahlung stattfindet, dauert das Sinken der Temperatur mit abnehmender Schnelligkeit fort, bis sie zur Zeit des Sonnenaufganges ihr Minimum erreicht hat.

Da im Sommer die Sonnenhöhen im Laufe des Tages zwischen weiteren Gränzen variiren (zwischen 0 und 63° für das mittlere Deutschland), als im Winter (zwischen 0 und 17° für den 50. Breitegrad), so ist klar, daß die Gränzen, zwischen welchen die Temperatur im Laufe eines Tages schwankt, im Sommer weiter aus einander liegen als im Winter. In der That beträgt z. B. für München die Differenz zwischen der höchsten und niedrigsten Temperatur des Tages im Monate Januar im Durchschnitt nur 2° C., während im Juli das tägliche Maximum durchschnittlich 6,2° höher ist als das tägliche Minimum.

Aus ähnlichen Gründen müssen nun auch die täglichen Temperaturschwankungen in den Aequatorialgegenden viel bedeutender sein als in höheren Breiten. Auch dies wird durch die Erfahrung bestätigt; so beobachtete z. B. Barth auf seiner Reise in das Innere von Afrika vom Aufgang der Sonne bis zum Nachmittage oft ein Steigen von 6 bis 30, ja von 8 bis 43° Celsius.

Im Allgemeinen bestätigt die Erfahrung allerdings die Resultate unserer obigen Raisonnements über den täglichen Gang der Wärme; sobald wir aber einzelne Tage herausgreifen, finden wir häufig solche Störungen des normalen Ganges, daß das Gesetz vollständig verwischt erscheint.

Von der Natur dieser Störungen und ihren Ursachen wird weiter unten die Rede sein.

Die Jahreszeiten. Die Sonne theilt nicht allein mit dem ganzen 281
Himmelsgewölbe die tägliche Umdrehung, sondern sie legt im Laufe eines Jahres am Himmelsgewölbe eine Bahn zurück, welche zur Hälfte nördlich, zur anderen Hälfte südlich von dem Himmelsäquator liegt. Eine Folge davon ist, daß wenigstens in den gemäßigten Zonen Tagesdauer und Mittagshöhe der Sonne ein halbes Jahr lang zunehmen, um dann in der folgenden Jahreshälfte in

gleicher Weise wieder abzunehmen. Dies hat dann den regelmäßigen Wechsel der Jahreszeiten zur Folge, deren Verlauf wir zunächst für die geographische Breite des mittleren Deutschland betrachten wollen.

Am 21. März passirt die Sonne den Himmelsäquator, um von der südlichen auf die nördliche Himmelskugel überzugehen. Tag und Nacht sind gleich lang, und die Mittagshöhe, zu welcher die Sonne ansteigt, beträgt 40°. Nun aber findet eine rasche Zunahme der Mittagshöhe der Sonne sowohl wie auch der Tagesdauer Statt; bei immer kräftiger werdender Insolation bleibt der Boden nun länger und länger dem erwärmenden Einflusse der Sonnenstrahlen ausgesetzt, die Lufttemperatur muß also steigen.

Allmälig wird die Zunahme der Tagesdauer und der Mittagshöhe langsamer, bis endlich am 21. Juni die Sonne ihre größte nördliche Breite erreicht, und somit auch der längste Tag von 16 Stunden und die größte Mittagshöhe der Sonne von $63^1/_2$ Graden eintritt.

Aus demselben Grunde, warum das tägliche Maximum der Temperatur nicht auf die Mittagsstunde fällt, tritt auch das jährliche Temperaturmaximum nicht mit dem längsten Tage ein, sondern später, so daß im Durchschnitt der Juli der heißeste Monat ist.

Nach dem längsten Tage nimmt die Tagesdauer und die Mittagshöhe der Sonne erst langsam, dann rascher ab, und mit der rascheren Abnahme beider stellt sich dann auch ein Sinken der Luftwärme ein. Am 22. September, dem Herbstäquinoctium, passirt die Sonne abermals den Himmelsäquator, um auf die südliche Hemisphäre der Himmelskugel überzugehen. Nun werden die Nächte länger als der Tag, die Mittagshöhe der Sonne nimmt mehr und mehr ab, bis sie am 21. December, als am kürzesten Tage (von 8 Stunden), ihr Minimum von 17 Grad erreicht. Unter diesen Umständen, da die Wirkung der ohnehin sehr schräg auffallenden Sonnenstrahlen nur auf wenige Stunden beschränkt bleibt, und der Boden die lange Nacht hindurch Wärme durch Ausstrahlung verliert, muß die Lufttemperatur bedeutend sinken; doch tritt das Minimum der Jahrestemperatur in der Regel erst gegen die Mitte des Januars ein, da unmittelbar nach dem kürzesten Tage die Zunahme der Tageslänge und der Mittagshöhe der Sonne noch zu unbedeutend ist, um ein Steigen der Temperatur bewirken zu können.

So ist denn im Allgemeinen der Gang der Lufttemperatur im Laufe des Jahres für Deutschland folgender: Von der Mitte Januar an steigt die Temperatur bis gegen die Mitte Juli, um von da allmälig bis zur Mitte Januar wieder abzunehmen. Das Steigen und Fallen der Temperatur ist am langsamsten vor und nach der Zeit des jährlichen Maximums und Minimums, am raschesten um die Zeit der Aequinoctien.

Die drei heißesten Monate, Juni, Juli und August, bilden den Sommer, die Zeit, in welcher die kräftigste Entwickelung der Vegetation vor sich geht. Den Winter bilden die drei kältesten Monate, December, Januar und Februar, während welcher die Vegetation fast gänzlich ruht. Während des Frühlings, März, April und Mai, findet ein allmäliges Erwachen, während des Herbstes,

September, October und November, ein allmäliges Absterben der Pflanzenwelt Statt.

Die Differenz zwischen der mittleren Temperatur des heißesten und des kältesten Monats beträgt für Deutschland im Durchschnitt 16° R.

Der oben beschriebene Wechsel der Jahreszeiten bezieht sich auf Länder mittlerer geographischer Breite; in höheren wie in niederen Breiten gestaltet sich die Sache wesentlich anders.

Unter höheren Breiten wird die Dauer des kürzesten Tages immer geringer, die Sonnenhöhe immer unbedeutender, die Winterkälte muß also gegen die Pole hin immer zunehmen; zugleich aber nimmt die Dauer des Winters zu, denn während der Aequinoctialperiode ist die Wirkung der Sonnenstrahlen in jenen Ländern noch viel zu gering, um Eis und Schnee zu schmelzen oder das Gefrieren des Wassers zu verhindern, der Winter erstreckt sich also noch über einen Theil der Monate, welche bei uns den Frühling und den Herbst ausmachen. Im Sommer aber wird die im Vergleich zu unseren Gegenden geringere Mittagshöhe der Sonne (unter dem 60. Breitengrade z. B., welcher ungefähr über Petersburg und Stockholm geht, ist der längste Tag $18^1/_2$ Stunde, die höchste Mittagshöhe der Sonne $53^1/_2{}^0$) durch die längere Dauer der Sommertage nahezu wieder ausgeglichen, so daß die Sommerhitze immer noch eine sehr bedeutende werden kann. In jenen Gegenden herrscht also ein langer kalter Winter, welcher rasch in einen heißen kurzen Sommer übergeht, so daß die Uebergangs-Jahreszeiten, Frühling und Herbst, mehr und mehr verschwinden.

Innerhalb der Polarkreise fallen endlich die Sonnenstrahlen selbst zur Zeit der größten Sonnenhöhe noch so schräg auf, daß sie trotz der langen Tagesdauer keine kräftige Erwärmung hervorbringen können; statt des Sommers tritt nur eine mehr oder weniger bedeutende Unterbrechung in der Strenge der Winterkälte ein.

Wenden wir uns von Deutschland aus zu südlicheren Ländern, so muß dort aus zweierlei Gründen der Winter immer milder werden, denn einmal erreicht die Sonne selbst zur Zeit des Wintersolstitiums noch eine ziemlich bedeutende Mittagshöhe (unter dem 30. Breitengrade z. B. noch $36^1/_2{}^0$), während zugleich die Dauer der Wintertage größer ist als bei uns (für den 30. Breitengrad z. B. ist die Dauer des kürzesten Tages 10 Stunden 4 Minuten). Während so die Winterwärme steigt, wächst die Sommerwärme nicht in gleichem Maße, denn die Wirkung der größeren Sonnenhöhe wird dadurch zum Theil neutralisirt, daß die Sommertage nicht so lang sind als bei uns.

Die Differenz zwischen Sommer- und Wintertemperatur muß also um so mehr abnehmen, je mehr wir uns von den Polen aus den Wendekreisen nähern.

Innerhalb der Wendekreise aber verschwindet der Charakter unserer Jahreszeiten fast ganz. Auf dem Aequator passirt die Sonne zweimal, im März und September, das Zenith, während die niedrigste Mittagshöhe der Sonne (Ende Juni und December) noch $66^1/_2{}^0$ beträgt. Bedenkt man ferner, daß auf dem Aequator das ganze Jahr hindurch Tag und Nacht gleich sind, so begreift man

leicht, daß die jährlichen Temperaturvariationen für die Aequatorialgegenden nur sehr unbedeutend sein können.

Vom Aequator aus gegen die Wendekreise hin wird allmälig der Charakter unserer Jahreszeiten wieder merklich, während er erst in den gemäßigten Zonen entschieden zur Geltung kommt.

In der südlichen gemäßigten Zone wechseln die Jahreszeiten wie bei uns, nur ist begreiflich dort Winter, wenn wir Sommer haben und umgekehrt.

Im Allgemeinen bestätigt die Erfahrung die Resultate der obigen Betrachtung. So beträgt z. B. die Differenz zwischen der mittleren Temperatur des heißesten und des kältesten Monats für

Quito	1,4° R.
Havannah	4,5
Mexico	6,3
Palermo	11,1
Rom	13,7
München	15,6
Prag	18,6
Moskau	23,5
Irkutzk	30,3
Jakutzk	50,8.

282 **Modificationen normaler Temperaturverhältnisse.** Die durch die Attraction der Sonne vorgeschriebene Bahn eines jeden Planeten wird durch den *störenden* Einfluß der übrigen kaum alterirt, die *Störungen* spielen hier nur eine untergeordnete Rolle. Anders ist es mit den klimatischen Verhältnissen. Allerdings ist der Erwärmungszustand der unteren Luftschichten eine Function der Insolationsverhältnisse, aber eine Function, in welcher mehrere mannigfach wechselnde Factoren eintreten, so daß die Störungen den regelmäßigen Gang oft gänzlich maskiren. Wäre die Natur der Erdoberfläche überall dieselbe (d. h. fehlte die Abwechselung zwischen Wasser und Land, zwischen Berg und Thal, zwischen bewaldetem und pflanzenleerem Boden), würde die Wirkung der Insolation nicht durch wechselnde Bewölkung des Himmels modificirt, und würde die Wärme nicht durch Luft und Meeresströmungen von einem Orte zum anderen fortgeführt, so müßten nicht allein alle Orte gleicher geographischer Breite gleiche klimatische Verhältnisse haben, sondern es müßten auch die täglichen und jährlichen Variationen der Lufttemperatur vollkommen regelmäßig verlaufen.

Dem ist aber in der That nicht so. — So hat z. B. Neapel eine mittlere Jahreswärme von 12,25°, während bei gleicher nördlicher Breite Newyork nur eine mittlere Jahreswärme von 8,7° hat. Christiania und Quebec haben fast gleiche mittlere Jahreswärme (4,2 und 4,4°) und doch liegt Quebec um mehr als 13 Breitengrade südlicher als Christiania. Ebenso ist an einem und demselben Orte der Gang der Wärme von einem Jahr zum anderen sehr verschieden, und demselben Jahrestage entspricht keineswegs stets dieselbe Temperatur, wie

es sein müßte, wenn die Luftwärme allein vom Sonnenstande abhinge. So war z. B. zu Frankfurt am Main — 14° R. die mittlere Temperatur des 22. Januar 1850, + 8,5° R. die desselben Tages im Jahre 1846. — Im Jahre 1846 war zu Frankfurt am Main der 22. Januar um 2° wärmer als der 14. Mai. Ebendaselbst fiel im Jahre 1841 der heißeste Tag auf den 24. Mai (mit 20° R.), im Jahre 1842 aber auf den 19. August (mit 21° R.).

Solche Anomalien zeigen deutlich, wie sehr die Luftwärme außer den Insolationsverhältnissen noch von anderen mächtig influirenden und veränderlichen Factoren bedingt werde. Wenn am 22. Januar 1846 zu Frankfurt am Main eine Wärme von 8½° R. herrschte, so konnte diese hohe Temperatur unmöglich direct durch die Sonnenstrahlen hervorgerufen sein, und zwar um so weniger, als jener Tag ein durchaus bewölkter Regentag war; die damals herrschenden Südwestwinde hatten die Wärme offenbar aus südlicheren Gegenden zugeführt; ebenso wie die verhältnißmäßig niedrige Temperatur des 14. Mai nur das Resultat rauher Nordostwinde war.

Aus alle dem geht hervor, daß man die Temperaturverhältnisse eines Ortes nicht aus theoretischen Betrachtungen ableiten, sondern daß man sie nur durch längere Zeit fortgesetzte Beobachtungen ermitteln kann.

Mittlere Temperatur der Tage, der Monate und des Jahres. 283 Wenn man von einer Mitternacht bis zur nächsten alle Stunden ein zweckmäßig aufgestelltes Thermometer beobachtet und aus den 24 Beobachtungen das Mittel nimmt, so erhält man die mittlere Temperatur des Tages.

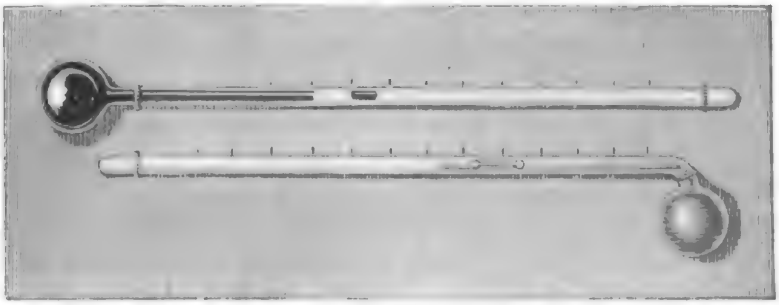
Solche stündliche Beobachtungen einige Zeit lang mit ununterbrochener Regelmäßigkeit anzustellen, ist ungemein mühsam, selbst wenn sich mehrere Personen in das Geschäft theilen. Man hat deshalb andere Methoden in Vorschlag gebracht, um die mittlere Temperatur eines Tages zu finden. Man erhält dieselbe z. B. sehr nahe richtig, wenn man um 7 Uhr Morgens, um 2 Uhr Nachmittags und um 9 Uhr Abends die Lufttemperatur beobachtet und aus diesen drei Beobachtungen das Mittel zieht. Andere ganz passende Beobachtungsstunden, deren Mittel gleichfalls das Tagesmittel repräsentiren, sind 7 Uhr Morgens und 7 Uhr Abends. Endlich findet man auch das Tagesmittel, wenn man aus dem innerhalb 24 Stunden beobachteten Maximum und Minimum der Temperatur das Mittel nimmt.

Um die höchste und niedrigste Temperatur zu erfahren, welche innerhalb 24 Stunden geherrscht hat, ohne daß man deshalb gerade zur Zeit des Maximums und des Minimums das Thermometer zu beobachten braucht, kann man den Fig. 545 (a. f. S.) abgebildeten Thermometrographen anwenden; er besteht aus zwei Thermometern, deren Röhren wagerecht liegen, und von denen das eine ein Quecksilberthermometer, das andere ein Weingeistthermometer ist. In der Röhre des Quecksilberthermometers liegt ein Stahlstiftchen, welches durch die Quecksilbersäule fortgeschoben wird, wenn sich das Quecksilber in der Kugel dieses Thermometers ausdehnt; wenn nun aber das Thermometer erkaltet, so zieht sich die Quecksilbersäule wieder zurück, das Stahlstäbchen aber bleibt an der Stelle

liegen, bis zu welcher es bei dem höchſten Stande des Thermometers geſchoben worden war; ein ſolches Thermometer giebt alſo das Maximum der Temperatur an, welches innerhalb einer gewiſſen Periode geherrſcht hat.

In der Röhre des Weingeiſtthermometers liegt ein ganz feines Glasſtäbchen, welches an beiden Enden etwas dicker iſt, wie man Fig 545 deutlich ſieht;

Fig. 545.



das Glasſtäbchen liegt noch in dem Weingeiſtſäulchen, und wenn der Weingeiſt in der Kugel erkaltet und ſich die Weingeiſtſäule in der Röhre bis an das erſte Knöpfchen des Glasſtäbchens zurückgezogen hat, ſo wird bei fernerem Sinken der Temperatur das Glasſtäbchen in Folge der Adhäſion zwiſchen Weingeiſt und Glas von der noch weiter ſich zurückziehenden Weingeiſtſäule mitgenommen; wenn aber die Flüſſigkeit in der Kugel wieder wärmer wird, ſo geht beim Steigen des Thermometers die Flüſſigkeit an dem Stäbchen vorbei, ohne es fortzuſchieben; das Stäbchen, welches von dunkelfarbigem Glaſe gemacht ſein muß, damit man es deutlich ſehen kann, bleibt alſo an der Stelle liegen, welche dem Minimum der Temperatur entſpricht, die innerhalb eines gewiſſen Zeitraumes herrſchte.

Wenn die Kugel des einen Thermometers auf der rechten Seite liegt, ſo liegt die des anderen links, wenn man den ganzen Apparat etwas neigt und leiſe daran ſtößt, ſo daß das Stahlſtäbchen durch ſein Gewicht bis auf die Queckſilberſäule, das Glasſtäbchen aber bis an das Ende der Weingeiſtſäule fällt. Wenn man das ſo vorgerichtete Inſtrument ſtehen läßt, ſo wird bei jedem Steigen der Temperatur das Stahlſtäbchen fortgeſchoben, das Glasſtäbchen aber bei jedem Sinken der Temperatur zurückgezogen.

Dieſes Inſtrument iſt beſonders geeignet, um das Maximum und Minimum der täglichen Temperatur anzugeben. Wenn man es etwa jeden Abend in Stand ſetzt, ſo kann man den folgenden Abend ableſen, welches die höchſte und welches die niedrigſte Temperatur während der letzten 24 Stunden war.

Hat man auf die eine oder andere Weiſe die mittlere Temperatur aller Tage eines Monates ermittelt, ſo erhält man die mittlere Temperatur des Monates, wenn man aus den 30 oder 31 Tagesmitteln wieder das Mittel nimmt.

Die aus den 12 Monatsmitteln gezogene Mittelzahl giebt dann die mittlere Temperatur des ganzen Jahres an.

So ergeben ſich z. B. aus den zu Berlin angeſtellten Beobachtungen fol-

gende Mittelwerthe für die Temperatur der einzelnen Monate und des ganzen Jahres von 1829 bis 1834:

	1829	1830	1831	1832	1833	1834	*D*
Januar	— 4,66	— 6,11	— 3,71	— 1,13	— 2,69	— 2,83	— 1,90
Februar	— 2,88	— 3,40	0,60	0,97	3,01	1,16	— 0,15
März	1,38	3,88	3,14	3,16	1,77	3,74	2,74
April	7,19	8,41	9,00	7,20	5,06	6,20	6,88
Mai	9,49	11,22	9,98	9,49	14,38	12,74	10,92
Juni	14,56	14,01	12,60	13,61	15,27	15,17	13,94
Juli	15,43	15,39	15,40	12,64	14,59	18,69	15,04
August	13,85	14,17	14,63	14,65	11,31	16,77	14,43
September . . .	11,59	11,18	10,53	10,53	11,27	12,49	11,75
October	6,35	7,28	9,74	7,62	7,04	7,69	7,97
November	0,71	4,72	2,71	2,62	3,39	3,81	3,25
December	— 6,93	— 0,47	1,43	1,08	3,80	1,68	1,32
Jahr	5,50	6,77	7,16	6,86	7,35	8,58	7,18

Hat man für einen Ort die mittlere Temperatur der einzelnen Monate und des ganzen Jahres während eines längeren Zeitraumes ermittelt, so ergiebt sich das allgemeine Monatsmittel, wenn man die Mitteltemperaturen desselben Monates, wie man sie in den einzelnen Jahren erhalten hat, addirt und die erhaltene Summe durch die Zahl der Beobachtungsjahre dividirt. Auf diese Weise haben sich aus einer Reihe von 24 Beobachtungsjahren die allgemeinen Monatsmittel für Berlin ergeben, wie man sie in der letzten Columne obiger Tabelle unter *D* findet.

Auf gleiche Weise ergiebt sich das allgemeine Jahresmittel, welches für Berlin 7,18° R. ist.

Je länger die Beobachtungsreihen fortgesetzt sind, desto richtiger werden die aus ihnen berechneten allgemeinen Monats- und Jahresmittel.

Jahresisothermen. Um den normalen Gang der Wärme für irgend 284
einen Ort zu ermitteln, muß man durch möglichst lange fortgesetzte Beobachtungen das allgemeine Mittel der einzelnen Monate bestimmen, und um ein wahres Bild der Vertheilung der Wärme auf der Erdoberfläche zu erhalten, muß man die Beobachtungsresultate der verschiedensten Weltgegenden zusammenstellen. Die Zahlen der folgenden Tabelle sind dem reichen Material entnommen, welches Dove gesammelt und in den Abhandlungen der Berliner Akademie veröffentlicht hat.

Die Temperaturangaben dieser Tabelle beziehen sich auf Reaumur'sche Grade, da diese Scala für Witterungsbeobachtungen die verbreitetste ist.

	Geographische Breite.	Mittlere Temperatur		
		des Jahres.	des heißesten Monats.	des kältesten Monats.
Singapore	1°17′	21,6	22,4	20,6
Guinea	5 30	21,9	23,0	20,0
Paramaribo	5 45	21,5	22,9	20,4
Batavia	6 9	20,6	21,3	19,1
Kouka	13 10	22,9	26,8	17,7
Domingo	18 29	21,9	24,0	20,0
Calcutta	22 38	22,4	25,9	16,6
Rio Janeiro	22 54 S	18,6	21,4	15,6
Havannah	23 9	20,1	22,0	17,5
Cairo	30 2	17,8	23,9	10,7
Bermudas	32 30	15,7	19,9	11,0
Funchal	32 38	15,8	18,6	13,8
Cavstadt	33 56 S	15,3	19,5	11,4
Adelaide	34 35 S	16,2	23,3	9,9
Gibraltar	36 7	15,7	21,1	11,4
Algier	36 47	14,3	19,8	9,3
Peking	39 54	10,1	22,0	— 3,0
New-York	40 43	8,7	18,3	— 3,4
Neapel	40 52	12,2	19,0	6,5
Rom	41 54	12,66	19,5	5,8
Albany	42 39	7,2	17,8	— 3,6
Hobart-Town	42 53 S	9,1	13,8	3,6
Sebastopol	44 36	9,3	17,4	1,0
Halifax	44 39	3,6	16,9	— 6,2
Bordeaux	44 50	11,1	18,3	4,0
Astrachan	46 21	8,2	20,3	— 8,6
Quebec	46 48	4,4	18,4	— 8,6
Fort Vancouver	48 37	8,8	15,1	2,7
Paris	48 50	8,6	15,0	1,5
Carlsruhe	49 1	8,3	15,8	— 0,14
Prag	50 5	8,1		
Frankfurt a. M.	50 10	7,8	15,1	— 0,24
Brüssel	50 51	8,3	14,4	1,3
Breslau	51 3	6,6	14,8	— 1,8
Düsseldorf	51 14	8,8	15,3	1,4
London	51 30	8,3	14,0	2,2

	Geographische Breite.	Mittlere Temperatur des Jahres.	des heißesten Monats	des kältesten Monats.
Falklands-Inseln . . .	52° 0′	6,8	10,6	2,4
Irkutzk	52 17	0,3	14,6	— 15,7
Amsterdam	52 23	7,9	14,8	0,5
Berlin	52 30	7,2	15,0	— 1,9
Barnaul	53 20	— 0,3	15,8	— 16,7
Dublin	53 21	7,6	12,7	2,9
Moskau	55 45	3,6	15,3	— 8,2
Edinburg	55 58	6,7	12,8	2,4
Sitcha	57 3	6,0	11,5	1,0
Nain	57 10	— 1,7	4,6	— 13,8
Petersburg	59 56	3,4	14,1	— 8,4
Bergen	60 24	6,6	12,6	1,34
Jakutzk	62 1	— 8,25	16,3	— 34,4
Reikiavik	64 8	3,3	10,7	— 1,0
Archangel	64 32	0,68	12,8	— 11
Fort Franklin	65 12	— 6,6		
Torneo	66 24	— 0,42	13,1	— 12,7
Boothia Felix	69 59	— 12,6		
Ustjansk	70 58	— 12,4		
Nordcap	71 10	0,11	6,4	— 4,4
Melville-Inseln	74 47	— 13,7	4,6	— 28,1

Eine südliche Breite ist in dieser Tabelle durch S bezeichnet, wo dagegen keine weitere Bezeichnung beigefügt ist, ist von einer nördlichen Breite die Rede.

Eine klare Uebersicht über die Vertheilung der Wärme auf der Erde hat zuerst Humboldt durch seine isothermischen Linien möglich gemacht, durch welche er alle solche Orte derselben Hemisphäre verband, welche gleiche mittlere Jahreswärme haben.

Denken wir uns z. B., daß ein Reisender, von Paris ausgehend, eine Reise um die Erde in der Weise macht, daß er alle Orte der nördlichen Halbkugel besucht, welche dieselbe mittlere Jahreswärme haben wie Paris, nämlich 10,8° C. oder 8,6° R., so wird der Weg, den er auf diese Weise zurücklegt, eine Linie gleicher mittlerer Jahreswärme, also eine isotherme Linie sein; diese Linie fällt aber nicht mit dem Breitengrade von Paris zusammen, sie ist unregelmäßig und gekrümmt, d. h. sie geht durch Orte, welche eine ganz andere Breite haben als Paris.

Die Karte Fig. 546 ſtellt die Erdoberfläche in Aequatorial-Projection mit den Iſothermen von 4 zu 4° R. dar; außerdem befinden ſich noch innerhalb

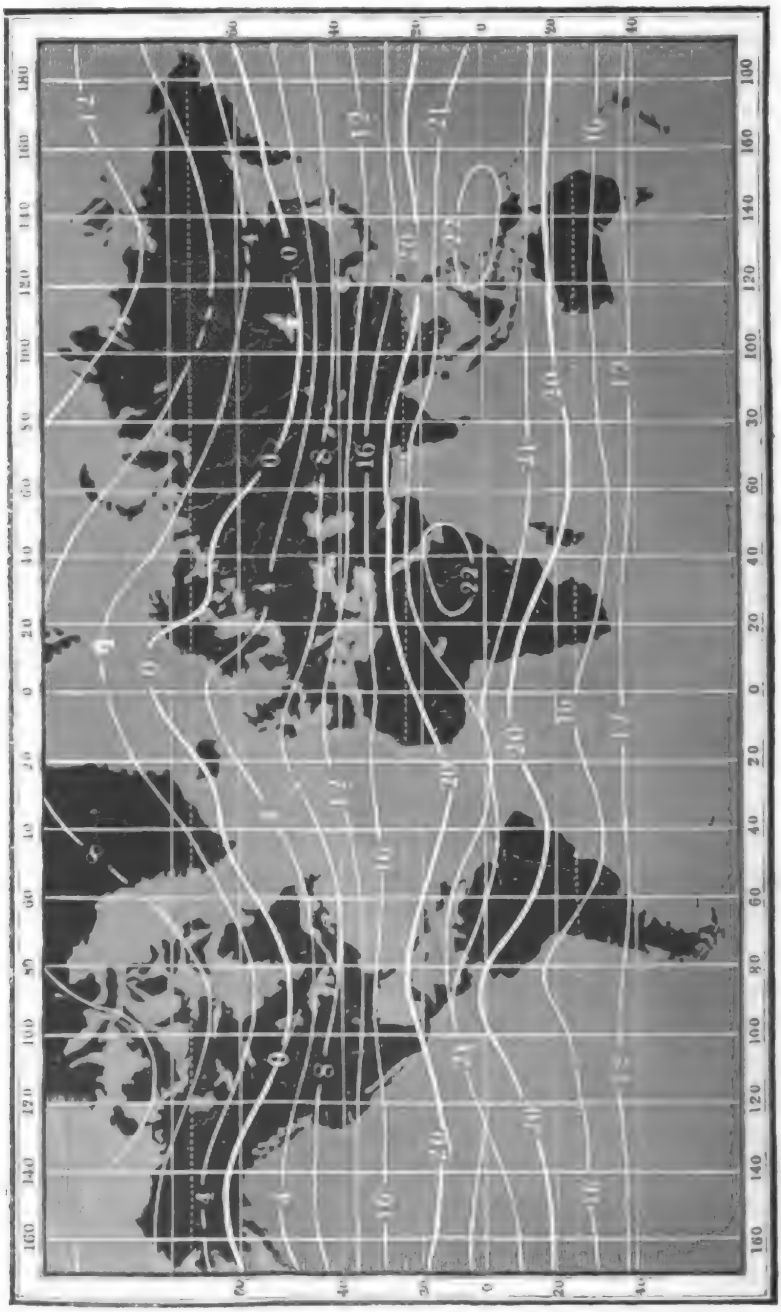


Fig. 546.

des Gürtels, für welchen die mittlere Jahreswärme 20° R. überſteigt, die Curven von 21 und 22° mittlerer Jahreswärme.

Die Anſchauung dieſer Karte erſpart uns eine weitere Beſchreibung des Laufes der Iſothermen. Man ſieht, daß ihre Krümmungen in der nördlichen

Halbkugel um so bedeutender werden, je weiter man sich vom Aequator entfernt; die Isotherme von 0° z. B. steigt von dem südlichen Ende der Küste von Labrador über Island nach dem Nordcap, um sich im Innern von Asien wieder bedeutend zu senken.

Da, wo sich die Isothermen am weitesten nach Süden herabsenken, bilden sie einen concaven, da, wo sie am höchsten nach Norden steigen, bilden sie einen convexen Gipfel. Die südlichen Wendepunkte der Isothermen liegen im östlichen Nordamerika und im Innern von Asien, die nördlichen Wendepunkte dagegen liegen an den Westküsten von Europa und Amerika.

Die Temperaturverhältnisse der südlichen Hemisphäre sind uns bei Weitem nicht so vollständig bekannt wie die der nördlichen, doch ist es wohl als ausgemacht zu betrachten, daß die südliche Halbkugel kälter ist als die nördliche; dieser Unterschied möchte aber wohl geringer sein, als man vielfach anzunehmen geneigt ist. Was vielleicht dazu beigetragen hat, die südliche Halbkugel für so bedeutend kälter zu halten als die nördliche, ist wohl der Umstand, daß man die Temperaturverhältnisse der südlichsten Theile von Amerika mit den Temperaturverhältnissen gleicher nördlicher Breiten in Europa verglichen hat, wo ja die Isothermen so außerordentlich weit nach Norden in die Höhe steigen; die Sache stellt sich ganz anders, wenn man die Gegenden von Südamerika mit solchen vergleicht, welche gleich weit vom Aequator an der Ostküste von Nordamerika liegen.

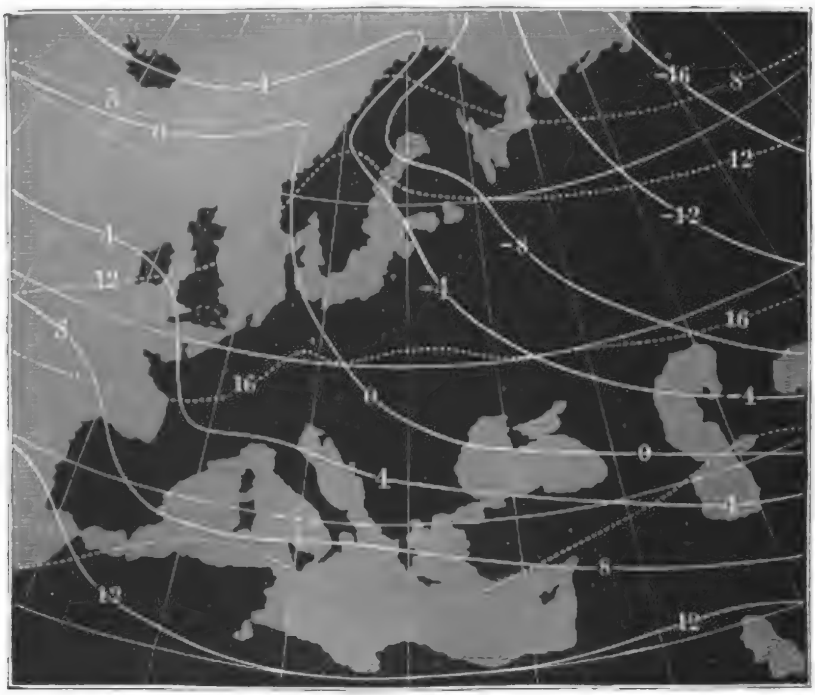
Daß die südliche Halbkugel etwas kälter ist als die nördliche, rührt wohl daher, daß auf der nördlichen das Land, auf der südlichen hingegen das Meer vorherrscht. Das feste Land erwärmt sich durch die Absorption der Sonnenstrahlen weit mehr als das Meer, welches einen großen Theil dieser Strahlen reflectirt.

Isotheren und Isochimenen. Daß nicht alle Orte, welche auf 285
demselben Parallelkreise liegen, gleiches Klima haben, ist bereits angeführt worden, es fragt sich aber nun, ob denn alle Orte, welche auf derselben Isotherme liegen, alle Orte also, für welche die mittlere Jahreswärme gleich ist, auch sonst gleiche klimatische Verhältnisse haben. Man braucht nur die Tabelle auf Seite 522 und 523 anzusehen, um sich zu überzeugen, daß dies nicht der Fall ist. Edinburg und Breslau haben gleiche mittlere Jahreswärme von 6,6°, in Edinburg ist aber die mittlere Temperatur des kältesten Monats 2,4°, in Breslau — 1,8°; Breslau hat also einen weit kälteren Winter als Edinburg, dagegen ist die mittlere Sommertemperatur für Breslau 14,8, für Edinburg nur 12,8°. Bei gleicher mittlerer Jahrestemperatur hat also Edinburg einen gelinderen Winter und einen kühleren Sommer als Breslau.

Um die Wärmeverhältnisse eines Landes zu kennen, reicht es also nicht hin, daß man weiß, welches seine mittlere Jahrestemperatur ist, man muß auch wissen, wie die Wärme auf die verschiedenen Jahreszeiten vertheilt ist. Diese Vertheilung kann man auf einer Isothermenkarte dadurch zeigen, daß man, nach Humboldt's Beispiele, an den verschiedenen Stellen einer und derselben Iso-

therme die mittlere Sommer- und Wintertemperatur beſchreibt, was in unſerer Iſothermenkarte wegen ihrer Kleinheit nicht möglich war; man ſieht alsdann bald, daß gerade in der Nähe der convexen Gipfel der Iſothermen auch die Differenzen zwiſchen der mittleren Sommer- und Wintertemperatur am geringſten ſind; dieſelben Urſachen alſo, welche machen, daß die Iſothermen an den Weſtküſten von Europa und Amerika ſo hoch nach Norden ſteigen, machen auch die Differenz zwiſchen der Sommer- und Wintertemperatur geringer. Eine ſehr gute Ueberſicht in Beziehung auf die Vertheilung der Wärme zwiſchen Winter und Sommer gewährt eine Karte, in welcher man alle Orte durch Curven verbindet, welche gleiche mittlere Wintertemperatur, und diejenigen, welche gleiche mittlere Sommertemperatur haben. Die Linien gleicher mittlerer Wintertemperatur heißen Iſochimenen, die Linien gleicher mittlerer Sommertemperatur heißen Iſotheren. Fig. 547 ſtellt ein Kärtchen von Europa mit den Iſotheren und Iſochimenen von 4 zu 4 Grad Réaumur dar.

Fig. 547.



Die ausgezogenen Curven ſind die Iſochimenen, die punktirten ſind die Iſotheren. Man erſieht aus dieſer Karte leicht, daß die Weſtküſte des ſüdlichen Theiles von Norwegen, Dänemark, ein Theil von Böhmen und Ungarn, Siebenbürgen, Beſſarabien und die Südſpitze der Halbinſel Krim gleiche mittlere Wintertemperatur von 0° haben. Böhmen hat aber einen gleichen Sommer mit dem Ausfluſſe der Garonne, und in der Krim iſt der Sommer noch weit wärmer. Dublin hat gleiche mittlere Wintertemperatur, nämlich 4°, mit Nantes, Oberitalien und Conſtantinopel, und gleiche mittlere Sommerwärme mit Drontheim und Finnland.

Die Isothere von 16° geht von dem Ausflusse der Garonne ungefähr über Straßburg und Würzburg nach Böhmen, der Ukraine, dem Lande der Donischen Kosacken und geht etwas nördlich vom Caspischen Meere vorbei; wie ungleich ist aber die mittlere Wintertemperatur an verschiedenen Orten dieser Isothere! An der Westküste von Frankreich ist sie 4°, in Böhmen 0°, in der Ukraine — 4° und etwas nördlich vom Caspischen Meere gar — 8°.

Land- und Seeklima. Die Betrachtung der letzten Karte und der 286
Tabelle auf Seite 522 und 523 führt uns zu der wichtigen Unterscheidung zwischen Land- und Seeklima oder, wie man es auch ausdrückt, zwischen Continental- und Küstenklima. Die Differenzen zwischen der Sommer- und Wintertemperatur wachsen mit der Entfernung vom Meere; an den Meeresküsten herrschen kühle Sommer und milde Winter, im Innern des Landes heiße Sommer und kalte Winter. Diese Differenzen treten sehr lebhaft hervor, wenn man die Temperaturverhältnisse der Westküsten von Europa mit denen des nördlichen Asiens vergleicht. Um das Verhältniß der mittleren Jahreswärme zu der Vertheilung der Wärme leicht ersehen zu können, ist in den folgenden, der Tabelle S. 522 entnommenen Beispielen die mittlere Jahreswärme vor, die mittlere Wärme des heißesten Monats über, die mittlere Temperatur des kältesten Monats unter einen Horizontalstrich gesetzt.

Küstenklima:		Continentalklima:	
Nordcap	$0{,}1 \frac{6{,}4}{-4{,}4}$	Jakutzk	$-8{,}2 \frac{16{,}3}{-34{,}4}$
Reikiavik . . .	$3{,}3 \frac{10{,}7}{-1{,}0}$	Irkutzk	$0{,}3 \frac{14{,}6}{-15{,}7}$
		Moskau . . .	$3{,}6 \frac{15{,}3}{-8{,}2}$

Welchen Einfluß solche klimatische Verschiedenheiten auf die Vegetation ausüben müssen, ist klar. An mehreren Orten Sibiriens, in Jakutzk z. B., wo die mittlere Jahrestemperatur — 8,2° R. ist, die mittlere Januartemperatur aber — 34,4° R. beträgt, wird während des kurzen, aber heißen Sommers Gerste und Roggen auf einem Boden gebaut, welcher in einer Tiefe von 3 Fuß beständig gefroren bleibt; dagegen ist auf der Insel Island bei ungleich höherer Jahrestemperatur und bei einer unbedeutenden Winterkälte an den Bau von Cerealien nicht mehr zu denken, weil die niedrige Sommertemperatur nicht hinreicht, sie zur Reife zu bringen.

Im nordöstlichen Irland, wo im Winter kaum Eis friert, in gleicher Breite mit Königsberg, gedeiht die Myrthe so kräftig wie in Portugal; auf den Küsten von Devonshire überwintert die Camelia japonica und die Fuchsia coccinea im Freien; der Winter ist in Plymouth nicht kälter als in Florenz und Montpellier: der Weinbau gedeiht aber nicht in England, weil die Rebe wohl eine ziemlich starke Winterkälte vertragen kann, aber eines heißen Sommers bedarf, wenn die Trauben reifen und einen trinkbaren Wein liefern sollen.

Diese Unterschiede rühren daher, daß das feste Land, die Wärmestrahlen leichter absorbirend und ausstrahlend, sich schneller erwärmt und leichter wieder erkaltet, als das Meer, welches, überall von gleichförmiger Natur, wegen seiner Durchsichtigkeit, wegen der bedeutenden specifischen Wärme des Wassers nicht so schnell erwärmt wird, die einmal erlangte Wärme aber auch nicht so schnell abgiebt Die Temperatur der Meeresoberfläche ist deshalb weit gleichförmiger; sowohl die täglichen als auch die jährlichen Temperaturschwankungen sind ungleich geringer als in der Mitte der großen Continente, und dadurch ist gerade der schon oben erwähnte Unterschied zwischen Land- und Seeklima bedingt, welcher dadurch größer wird, daß an den Küsten der nördlich gelegenen Länder der Himmel meistens bedeckt ist, was sowohl den wärmenden Einfluß der Sonnenstrahlen im Sommer mäßigt als auch die starke Erkaltung des Bodens durch Wärmestrahlung im Winter hindert.

287 **Ursachen der Biegung der Isothermen.** Die wichtigsten Ursachen, welche bewirken, daß die Isothermen an den Westküsten von Europa und Amerika so stark nach Norden sich biegen, sind im Wesentlichen folgende.

In der nördlichen gemäßigten Zone sind die Südwest- und die Nordostwinde die vorherrschenden. Der Südwestwind kommt aus den Aequatorialgegenden und führt die Wärme der Tropen zum Theil nach den kälteren Ländern; dieser erwärmende Einfluß der Südwestwinde wird aber in solchen Ländern vorzugsweise merklich werden, welche der südwestlichen Luftströmung am meisten ausgesetzt sind, und somit erklärt sich, daß die Westküsten der großen Continente wärmer sind als die Ostküsten, daß die Isothermen in Europa, welches eigentlich nur eine halbinselförmige Verlängerung des asiatischen Continents ist, und an den Westküsten von Nordamerika weiter nach Norden steigen als im Innern von Asien und an den Ostküsten von Nordamerika.

Ein zweiter Umstand, welchem Europa sein verhältnißmäßig warmes Klima verdankt, ist der, daß sich im Süden von Europa, in der Aequatorialzone, nicht ein Meer, sondern ein ausgebreitetes Land, nämlich Afrika, befindet, dessen großentheils kahler und sandiger Boden unter dem Einflusse der senkrecht auffallenden Sonnenstrahlen außerordentlich heiß wird. Ein warmer Luftstrom steigt beständig von den glühenden Sandwüsten in die Höhe, um sich dann in Europa wieder herabzusenken.

Endlich trägt eine unter dem Namen des Golfstromes bekannte Meeresströmung sehr zur Milderung des europäischen Klimas bei. Der Ursprung dieses Stromes ist im mexicanischen Meerbusen zu suchen, wo das Meerwasser bis zu einer Temperatur von 24° R. erwärmt wird. Zwischen Cuba und Florida aus dem mexicanischen Meerbusen heraustretend, folgt der Strom anfangs den amerikanischen Küsten, um sich dann mit stets zunehmender Breite und abnehmender Temperatur östlich nach Europa hinzuwenden. Wenn auch der Golfstrom selbst nicht bis an die Küsten von Europa reicht, so verbreitet sich doch sein warmes Wasser, namentlich unter dem Einflusse der vorherrschenden Süd-

weſtwinde, in den europäiſchen Gewäſſern, was ſchon daraus hervorgeht, daß man an den weſtlichen Küſten von Irland und an den Küſten von Norwegen Früchte von Bäumen findet, die in der heißen Zone Amerikas wachſen; die Weſt- und Südweſtwinde bleiben alſo lange mit einem Meerwaſſer in Berührung, deſſen Temperatur zwiſchen dem 45. und 50. Breitengrade ſelbſt im Januar nicht unter 7 bis 8° R. ſinkt. Unter dem Einfluß dieſes Golfſtromes iſt das nördliche Europa durch ein eisfreies Meer von dem Gürtel des Polareiſes getrennt; ſelbſt in der kälteſten Jahreszeit erreicht die Gränze des Polareiſes nicht die europäiſchen Küſten.

Während ſo alle Umſtände zuſammenwirken, um die Temperatur in Europa zu erhöhen, wirken im nördlichen Aſien mehrere Urſachen zuſammen, um die Iſothermen bedeutend herabzuſenken. Im Süden von Aſien liegen zwiſchen den Wendekreiſen keine bedeutenden Ländermaſſen, nur einige aſiatiſche Halbinſeln ragen in die heiße Zone hinein; das Meer aber erwärmt ſich nicht ſo ſtark wie die afrikaniſchen Wüſten, theils weil das Waſſer die Wärmeſtrahlen ungleich weniger abſorbirt, theils aber auch, weil bei der fortwährenden Verdampfung von Waſſer auf der Oberfläche des Meeres ſehr viel Wärme gebunden wird. Die warmen Luftſtröme, welche, aus dem Becken des indiſchen Oceans aufſteigend, die Wärme der Tropen dem inneren und nördlichen Aſien zuführen könnten, werden aber durch die ungeheuren Gebirgsketten im Süden von Aſien aufgehalten, während das nach Norden hin allmälig ſich verflachende Land den Nord- und den Nordoſtwinden preisgegeben iſt. Während ſich Europa nicht weit nach Norden erſtreckt, ragt Aſien weit in das nördliche Eismeer hinein, welches hier allen wärmenden Einflüſſen entzogen, durch welche die Temperatur der europäiſchen Meere erhöht wird, faſt immer mit Eis bedeckt iſt. Ueberall reichen die Nordküſten von Aſien bis an die Wintergränze des Polareiſes, und die Sommergränze dieſes Eiſes entfernt ſich nur auf kurze Zeit an einigen Stellen von den Küſten; daß aber dieſer Umſtand die Temperatur bedeutend erniedrigen muß, iſt klar, wenn man bedenkt, wie viel Wärme bei der Schmelzung ſolcher Eismaſſen gebunden wird.

Die bedeutende Senkung der Iſothermen im Innern und an den Oſtküſten von Nordamerika rührt zum Theil daher, daß die Südweſtwinde hier nicht mehr Seewinde, ſondern Landwinde ſind und deshalb hier nicht mehr den mildernden Einfluß ausüben können wie auf den Weſtküſten. Während die europäiſchen Küſten vom wärmeren Waſſer beſpült ſind, ziehen ſich an den Oſtküſten von Nordamerika kalte Meeresſtrömungen von Norden nach Süden. Eine ſolche Strömung, von Spitzbergen herkommend, geht zwiſchen Island und Grönland hindurch und vereinigt ſich dann mit den aus der Hudſons- und Baffinsbai kommenden Strömungen, um an der Küſte von Labrador herab, bei Neufoundland vorbei zu treiben und ſich unter dem 44 Breitengrade unter den Golfſtrom zu ergießen. Dieſe arktiſche Strömung trägt die Kälte der Polarregionen theils durch die niedrige Temperatur des Waſſers, größtentheils aber durch die ſchwimmenden Eisberge in die ſüdlicheren Gegenden, und ſo iſt dieſe Strömung

ein Hauptgrund der bedeutenden Senkung der Isothermen an den Ostküsten von Amerika.

288 **Temperatur des Bodens.** Wir haben bisher nur immer die Temperatur der Luft, aber nicht die Temperatur der oberen Bodenschichten besprochen, welche je nach der Natur der Bodenfläche oft bedeutend von der Lufttemperatur verschieden sein kann; ein nackter, des Pflanzenwuchses beraubter steiniger oder sandiger Boden wird durch die Absorption der Sonnenstrahlen weit heißer, ein mit Pflanzen bedeckter Boden, z. B. ein Wiesengrund, wird durch die nächtliche Strahlung weit kälter als die Luft, deren Temperatur schon durch die fortwährenden Luftströmungen mehr ausgeglichen wird. In den afrikanischen Wüsten steigt die Hitze des Sandes oft auf 40 bis 48° R. Ein mit Pflanzen bedeckter Boden bleibt kühler, weil die Sonnenstrahlen ihn nicht direct treffen können; die Pflanzen selbst binden gewissermaßen eine bedeutende Wärmemenge, indem durch die Vegetation eine Menge Wasser verdunstet; sie erkalten aber auch, wie wir bald näher sehen werden, wenn wir die Thaubildung betrachten, bei ihrem großen Emissionsvermögen durch Ausstrahlung der Wärme so stark, daß die Temperatur des Grases oft 6 bis 9 Grad unter die Temperatur der Luft sinkt. Im Innern der Wälder ist die Luft beständig kühl, weil die dichte Laubdecke auf dieselbe Weise abkühlend wirkt wie eine Grasdecke, und weil die an den Gipfeln der Bäume abgekühlte Luft sich niedersenkt.

Wegen des unvollkommenen Wärmeleitungsvermögens kann die Wärme der obersten Bodenschichten nur nach und nach in das Innere eindringen; wenn die Oberfläche aber erkaltet, so verlieren die tieferen Bodenschichten weniger schnell ihre Wärme; in einer geringen Tiefe werden deshalb die Temperaturschwankungen weit geringer sein als an der Oberfläche selbst. In Deutschland verschwinden bei einer Tiefe von 6 Decimetern die täglichen Temperaturschwankungen, und in einer Tiefe von 24 Metern verschwinden sogar die jährlichen Variationen, so daß hier beständig eine Temperatur herrscht, welche nur wenig von der mittleren Temperatur des Ortes abweicht.

Obgleich alle Wärme auf der Oberfläche der Erde nur von der Sonne kommt, so hat doch die Erde auch ihre eigenthümliche Wärme, wie aus der Temperaturzunahme folgt, welche man in großen Tiefen beobachtet hat. Wenn die Wärme nach dem Mittelpunkte der Erde hin auch in größerer Tiefe noch in dem Maße zunähme, welches uns diese Beobachtungen zeigen, so müßte schon in einer Tiefe von 10,000 Fuß die Temperatur des siedenden Wassers herrschen, im Mittelpunkte der Erde aber müßten alle Körper glühend sein und im geschmolzenen Zustande sich befinden. Daß wir von dieser ungeheuren Hitze im Innern der Erde auf der Oberfläche nichts merken, läßt sich durch das schlechte Leitungsvermögen der erkalteten Erdkruste erklären, welche diesen glühenden Kern einschließt.

Die meisten wasserreichen Quellen haben eine Temperatur, welche sich in den verschiedenen Jahreszeiten nur sehr wenig ändert; in unserer Hemisphäre

erreichen sie meistens ihre höchste Temperatur im September, die niedrigste im März, die Differenz ihrer höchsten und ihrer niedrigsten Temperatur beträgt in der Regel nur 1 bis 2°.

Quellen, welche aus größeren Tiefen kommen, haben eine weit höhere Temperatur, wie dies bei vielen Salzquellen und sonstigen Mineralquellen der Fall ist. Das Wasser mancher Quellen hat fast die Temperatur des Siedpunktes.

Abnahme der Temperatur in den höheren Luftregionen. 289 Die Erwärmung der Luft hat zwei Ursachen; zunächst absorbirt sie einen Theil der von der Sonne kommenden Wärmestrahlen; weil aber die Luft die Wärmestrahlen ungleich weniger absorbirt als die Erdoberfläche, so ist auch die Erwärmung der Luft durch die Absorption der Wärmestrahlen ungleich geringer als die Erwärmung des Bodens; den bedeutendsten Antheil ihrer Wärme erhält die Atmosphäre von unten her.

Wäre die Luft keine elastische Flüssigkeit, bliebe die Dichtigkeit der Atmosphäre für alle Höhen dieselbe, so würden die am Boden erwärmten Luftschichten bis an die Gränze der Atmosphäre steigen, die obersten Schichten des Luftmeeres, welches unsere Erde einhüllt, würden auch die wärmsten sein. Weil sich aber die warmen Luftschichten bei ihrem Aufsteigen ausdehnen, so wird bei dieser Ausdehnung Wärme gebunden, ihre Temperatur muß sinken, und so kommt es, daß die höheren Luftschichten kälter sind als die tieferen.

Daß eine solche Abnahme der Temperatur in den höheren Luftregionen wirklich stattfindet, davon überzeugt man sich, wenn man zu diesen höheren Regionen aufsteigt, mag man sich nun in einem Luftballon erheben oder den Gipfel hoher Berge besteigen.

In den Alpen entspricht im Durchschnitt eine Erhebung von 180 Metern einer Temperaturerniedrigung von 1°.

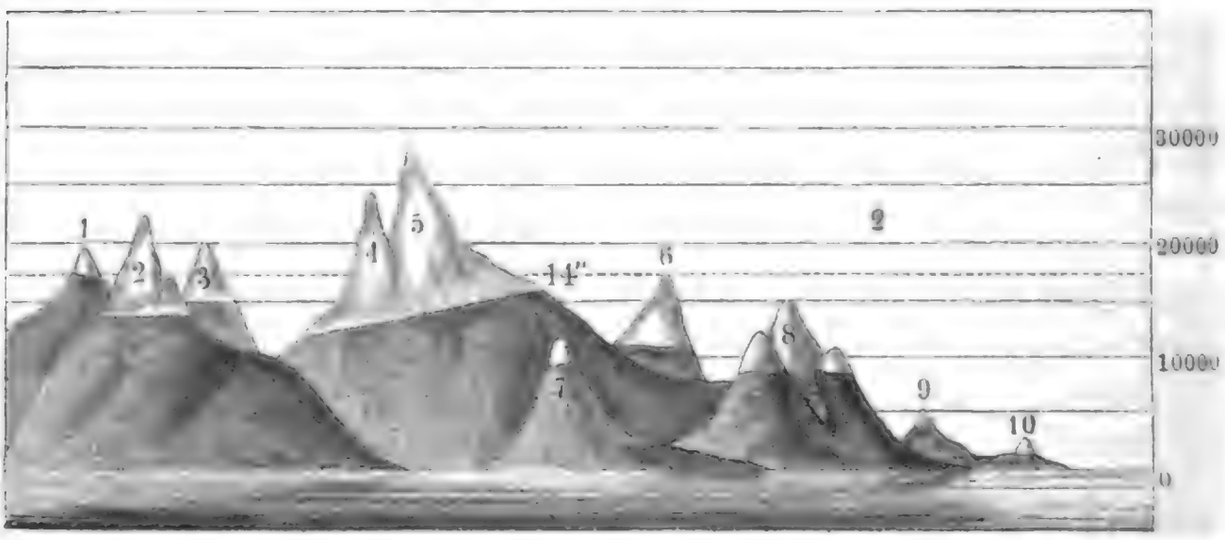
Eine Folge der mit der Höhe abnehmenden Temperatur ist, daß die Gipfel hoher Berge stets mit Schnee bedeckt sind.

Die Gränze des ewigen Schnees liegt natürlich um so höher, je mehr man sich der heißen Zone nähert. Die Höhe der Schneegränze ist für

die Küste von Norwegen .	720	Meter
Island	936	„
Alpen	2708	„
Aetna	2905	„
Himalaya	4500	„
Mexico	4500	„
Quito	4800	„

Fig. 548 ſtellt die Höhenverhältniſſe der Schneegränze in verſchiedenen Gegenden dar, und zwar ſind Nro. 1, 2 und 3 der Illimani, der Aconcagua und

Fig. 548.



der Chimborazzo in Südamerika; 4, 5 und 6 der Schamalari, der Dhawalagiri, und der Kaukaſus in Aſien. Nr. 7 ſtellt die Pyrenäen und 8 die Alpen dar, Nr. 9 den Sulitelma in Norwegen und Nr. 10 die Inſel Magerö.

Die auf der rechten Seite der Fig. 548 beigeſetzten Zahlen geben die entſprechenden Höhen in Pariſer Fuß an.

Zweites Capitel.

Die Atmosphäre, ihr Druck und ihre Strömungen.

Die Lufthülle der Erde. Die feste, zum Theil mit Wasser bedeckte 290
Erdkugel ist mit einer gasförmigen Hülle umgeben, welche man mit dem Namen der Atmosphäre bezeichnet. Das Gasgemenge, aus welchem die Atmosphäre besteht, nennt man die Luft.

Die Hauptbestandtheile der atmosphärischen Luft sind Sauerstoffgas und Stickgas, deren Gemisch noch verhältnißmäßig geringe Quantitäten von Kohlensäure und Wasserdampf beigemengt sind. In 100 Raumtheilen Luft sind 79 Raumtheile Stickgas und 21 Raumtheile Sauerstoffgas enthalten. Dieses Verhältniß ist fast ganz constant. Der Gehalt an Kohlensäure ist an und für sich sehr gering, unterliegt aber verhältnißmäßig größeren Schwankungen als Sauerstoff und Stickstoff, indem 10 000 Raumtheile Luft zwischen 3,3 und 5,3 Raumtheile Kohlensäure enthalten Noch veränderlicher ist der Gehalt an Wasserdampf, wovon im folgenden Capitel ausführlicher gehandelt werden soll.

Die Luft ist, wie wir früher schon gesehen haben, der Schwere eben so unterworfen, wie die festen und tropfbar-flüssigen Körper. Die Lufttheilchen werden also von der Masse des Erdkörpers angezogen und dadurch auch verhindert, sich von der Erde aus in den Weltraum zu zerstreuen. Durch ihre Schwere wird die Atmosphäre zu einem integrirenden Theile der Erde, sie nimmt Theil sowohl an ihrer jährlichen wie an ihrer täglichen Bewegung.

Weil die Luft expansibel ist und das Volumen, welches eine gegebene Luftmenge einnimmt, von dem Drucke abhängt, welchem sie ausgesetzt ist, so ist klar, daß die Atmosphäre nicht überall gleiche Dichtigkeit haben kann, daß dieselbe vielmehr von unten nach oben fortwährend abnehmen muß.

Daß die tieferen Luftschichten wirklich einen stärkeren Druck auszuhalten haben, das beweisen uns die in verschiedenen Höhen angestellten Barometerbeobachtungen. Am Meeresufer ist die Höhe der Barometersäule im Mittel 760 Millimeter; sobald man sich aber über den Meeresspiegel erhebt, sinkt das Barometer um so mehr, je höher man steigt; zu Potosi, in einer Höhe von 13220 Fuß, ist der mittlere Barometerstand nur noch 471 Millimeter (17,4

Zoll; in jener Höhe ist also der Luftdruck nur noch 0,62 von demjenigen, welcher am Ufer des Meeres stattfindet.

In Fig. 548 auf Seite 532 ist durch eine punktirte Linie die Höhe angedeutet, in welcher der Luftdruck nur noch halb so groß ist als am Spiegel des Meeres. Diese Linie streift den Gipfel des Kaukasus.

Da mit der Erhebung über den Meeresspiegel der Luftdruck abnimmt und das Barometer sinkt, so kann das Barometer dienen, um Höhenmessungen auszuführen. Näheres über diesen Gegenstand in §. 19, S. 41 des Supplementbandes.

Mit Hülfe der für barometrische Höhenmessungen construirten Formeln kann man berechnen, wie groß der Luftdruck einer jeden beliebigen Höhe über dem Meere ist; für eine Höhe von 160,000 Fuß oder 8 geographische Meilen ergiebt sich auf diese Weise ein Luftdruck, welcher so gering ist, daß er nur noch einer Quecksilbersäule von 1^{mm} das Gleichgewicht halten kann; in jener Höhe ist also die Dichtigkeit der Luft nur noch $^1/_{760}$ von der auf der Oberfläche des Meeres beobachteten. In einer Höhe von 10 bis 12 geographischen Meilen ist demnach die Luft schon so verdünnt, daß ihr Druck selbst für die empfindlichsten physikalischen Instrumente kaum bemerkbar ist. Was von Luft über die Höhe von 10 bis 12 geographischen Meilen hinausgeht, ist jedenfalls ein verschwindend kleiner Bruchtheil der übrigen Atmosphäre, und deshalb nimmt man in der Regel an, daß die Atmosphäre eine Höhe von 10 bis 12 geographischen Meilen habe.

Eben weil die Luft expansibel ist, kann sie nicht eine scharfe obere Gränze haben wie die Gewässer, welche die Erdoberfläche bedecken. Es findet eben in den höheren Luftregionen ein allmäliger Uebergang zur unendlichen Verdünnung Statt, und deshalb ist auch die Höhe der Atmosphäre keine absolut gegebene und präcis bestimmbare; man kann höchstens sagen, in welcher Höhe die Dichtigkeit der Luft unmerklich wird.

Nehmen wir in diesem Sinne die Höhe der Atmosphäre zu 10 bis 12 geographischen Meilen an, so sehen wir, daß diese Höhe sehr gering ist im Vergleich zum Durchmesser der Erde, welcher nahe 17000 geographische Meilen beträgt. Um sich ein klares Bild von dem Verhältnisse der Erdkugel zu ihrer Atmosphäre zu machen, denke man sich eine Kugel von 1 Fuß Durchmesser, welche von einer nicht ganz 1 Linie dicken luftigen Hülle umgeben ist.

Aber weit unter der angegebenen Gränze verschwindet die letzte Spur des organischen Lebens, welches weder eine solche Luftverdünnung, noch eine so niedrige Temperatur ertragen kann, wie sie in jenen Höhen herrscht, und welches schwerlich bis auf die Gipfel der höchsten Berge hinaufsteigt.

291 **Variationen des Barometerstandes.** Wir haben schon oben gesehen, daß der Luftdruck durch das Barometer gemessen wird. Nun aber beobachtet man beständige Schwankungen an diesem Instrumente, was eine beständige Ab- und Zunahme des Luftdruckes andeutet.

Die Variationen des Barometers sind entweder periodische oder zufällige. Die periodischen Schwankungen treten in den Tropen sehr entschieden auf;

das Barometer fällt von 10 Uhr Morgens bis 4 Uhr Nachmittags, steigt dann bis 11 Uhr Nachts, fällt wieder bis 4 Uhr Morgens und steigt abermals bis 10 Uhr Morgens. Der Barometerstand zeigt also zwei tägliche Maxima um 10 Uhr Morgens und um 11 Uhr Nachts, und zwei Minima um 4 Uhr Morgens und um 4 Uhr Abends.

Die Größe dieser täglichen Schwankungen beträgt ungefähr 2 Millimeter.

Auch eine jährliche Periode der Barometerschwankungen zeigt sich in den Tropen ganz entschieden. Das Barometer sinkt nördlich vom Aequator vom Januar bis zum Juli und steigt dann wieder vom Juli bis zum Januar. Im Juli ist der mittlere Barometerstand 2 bis 4 Millimeter niedriger als im Januar.

In höheren Breiten sind die zufälligen Schwankungen des Barometers so bedeutend, daß durch sie die hier sehr geringen periodischen Schwankungen ganz maskirt werden. Um entscheiden zu können, ob mitten in den beständig stattfindenden zufälligen Schwankungen des Barometers sich nicht auch ein periodisches Steigen und Fallen geltend mache, muß man die Mittelzahlen einer großen Reihe von Barometerbeobachtungen mit einander vergleichen, welche regelmäßig zu bestimmten Stunden des Tages angestellt worden sind. Wenn man einen Monat lang das Barometer an mehreren bestimmten Stunden des Tages beobachtet und das Mittel aus allen zu derselben Stunde gemachten Beobachtungen nimmt, so reicht dies hin, um die Existenz einer täglichen Periode der Barometerschwankungen auch für unsere Gegenden zu beweisen.

Solche Beobachtungen haben nun gezeigt, daß allerdings auch bei uns periodische Schwankungen stattfinden. Um 9 Uhr Morgens steht in unseren Gegenden das Barometer im Durchschnitt um 0,7 Millimeter höher als um 2 Uhr Nachmittags; auch ist der mittlere Barometerstand des Sommers etwas niedriger als der des Winters.

Ursachen der Barometerschwankungen. Die Ursache aller 292
Barometerschwankungen ist in der ungleichen und stets sich ändernden Wärmevertheilung auf der Erde zu suchen. Da sich die Wärmevertheilung auf der Erde beständig ändert, so wird auch das Gleichgewicht in jedem Augenblicke gestört, es entstehen Luftströmungen, welche das gestörte Gleichgewicht wieder herzustellen streben, und so ist denn die Luft in beständiger Bewegung, bald mehr erwärmt und deshalb leichter, bald wieder erkaltet und deshalb dichter; bald mehr, bald weniger Wasserdampf enthaltend, wird auch der Druck der Luftsäule fortwährenden Veränderungen unterworfen sein, welche uns das Barometer anzeigt.

Daß wirklich Temperaturveränderungen die Ursache der Barometerschwankungen sind, geht schon daraus hervor, daß sie in den Tropen, wo die Temperatur so wenig veränderlich ist, auch am unbedeutendsten sind, in höheren Breiten dagegen, wo die Variationen der Temperatur immer bedeutender werden, da ist auch die Amplitude der zufälligen Barometerschwankungen sehr groß, ja selbst im Sommer, wo die Temperatur im Allgemeinen weniger veränderlich ist, sind die Oscillationen des Barometers kleiner als im Winter.

Obgleich man im Allgemeinen nachweisen kann, daß die ungleiche und stets sich ändernde Erwärmung der Luft beständige Veränderungen in der Größe des Luftdrucks zur Folge haben muß, so sind wir doch noch weit davon entfernt, alle concreten Fälle stets genügend ableiten zu können.

Wenn an irgend einem Orte die Luft bedeutend erwärmt wird, so dehnt sie sich aus, die Luftsäule erhebt sich über die Luftmasse, welche auf den kälteren Umgebungen ruht, die in die Höhe gestiegene Luft wird also oben nach den Seiten hin abfließen, der Druck der Luft muß also an dem wärmeren Orte abnehmen, das Barometer wird daselbst sinken müssen; in den kälteren Umgebungen aber muß das Barometer steigen, weil sich die in den oberen Regionen der erwärmten Gegenden seitwärts abfließende Luft über die Atmosphäre der kälteren Gegenden verbreitet.

Dadurch erklärt sich auch, warum in unseren Gegenden im Durchschnitte bei Südwestwinden das Barometer am tiefsten, bei Nordostwinden am höchsten steht: die Südwestwinde bringen uns warme Luft, während uns die Nordostwinde kältere Luft zuführen; da, wo ein warmer Luftstrom weht, müßte die Atmosphäre eine größere Höhe haben als da, wo der kalte Wind weht, wenn der Druck der ganzen Luftsäule an beiden Orten derselbe sein sollte; wäre dies aber auch wirklich der Fall, so würde die Luft des warmen Stromes oben abfließen, das Barometer also unter dem warmen Luftstrome sinken, unter dem kalten dagegen steigen.

In Europa sind im Durchschnitt die Südwestwinde auch die Regenwinde, weil sie, von wärmeren Meeren kommend, mit Wasserdampf gesättigt sind, welcher sich nach und nach verdichtet und als Regen niederfällt, wenn der Wind zu immer kälteren Gegenden gelangt. In dieser Condensation des Wasserdampfes ist ein zweiter Grund zu suchen, warum das Barometer bei Südwestwinden niedrig steht. So lange nämlich der Wasserdampf als förmliches Gas einen Bestandtheil der Atmosphäre ausmacht, ist ihm ein Theil des atmosphärischen Druckes zuzuschreiben, ein Theil der Quecksilbersäule im Barometer wird durch den Wasserdampf getragen; das Barometer muß also sinken, wenn der Wasserdampf aus der Atmosphäre durch Verdichtung ausgeschieden wird.

Da die Südwestwinde, welche in unseren Gegenden ein Sinken des Barometers bewirken, uns auch eine feuchte Luft zuführen und regnerisches Wetter bringen, während das Barometer steigt, wenn Nordostwinde wehen, welche die Luft trocken und den Himmel heiter machen, so kann man allerdings sagen, daß im Allgemeinen ein hoher Barometerstand schönes Wetter, ein tiefer aber schlechtes Wetter anzeigt. Dies ist aber, wie gesagt, nur eine Durchschnittsregel, denn bei Nordostwind ist der Himmel auch öfters bewölkt, bei Südwestwind auch manchmal heiter; sie ist jedoch in derselben Ausdehnung wahr wie die, daß bei Nordostwind das Barometer hoch, bei Südwestwind dagegen tief steht; dies ist auch nicht immer, sondern nur im Durchschnitt wahr. Wir können uns von solchen Anomalien nicht immer genügende Rechenschaft geben, weil uns die mannigfachen Elemente nicht genügend bekannt sind, welche den Gleichgewichtszustand der Atmosphäre bedingen.

Daß ein hoher Barometerstand im Allgemeinen heiteres Wetter, ein tiefer aber trübes Wetter anzeigt, ist auch nur für solche Orte wahr, an welchen die warmen Winde zugleich die Regen bringenden sind. An dem Ausflusse des La-Plata-Stromes z. B. sind die kalten Südostwinde, welche vom Meere her wehen und das Barometer steigen machen, die Regenwinde, die warmen Nordwestwinde aber, bei welchen das Barometer sinkt, sind trockne Landwinde und bringen heiteres Wetter. Dem Umstande, daß hier der Regen durch kalte Winde gebracht wird, ist die geringere Regenmenge dieser Gegenden zuzuschreiben, während unter gleicher Breite an den Westküsten von Südamerika sehr viel Regen fällt, indem hier der warme Nordwestwind zugleich ein Seewind ist.

Entstehung der Winde. Wie bei dem auf Seite 451 beschriebenen 293
Versuch im Kleinen die ungleiche Erwärmung der beiden Räume Luftströmungen veranlaßt, so ist auch die ungleiche stets wechselnde Erwärmung der Erdoberfläche und des über ihr schwebenden Luftmeeres die Ursache der Luftströmungen, die wir *Winde* nennen. Auch im Großen sieht man die Luft in den stärker erwärmten Gegenden aufsteigen und in der Höhe nach den kälteren abfließen, während unten die Luft von den kälteren Gegenden den wärmeren zuströmt.

Ein einfaches Beispiel geben uns die Land- und Seewinde, welche man häufig an den Meeresküsten, namentlich aber auf den Inseln wahrnimmt. Einige Stunden nach Sonnenaufgang erhebt sich ein von dem Meere nach der Küste gerichteter Wind, der *Seewind*, weil das feste Land unter dem Einflusse der Sonnenstrahlen stärker erwärmt wird als das Meer; über dem Lande steigt die Luft in die Höhe und fließt oben nach dem Meere hin ab, während unten die Luft vom Meere gegen die Küsten strömt. Dieser Seewind ist anfangs schwach und nur an den Küsten selbst fühlbar, später nimmt er zu und zeigt sich dann auch auf dem Meere schon in größerer Entfernung von der Küste; zwischen 2 und 3 Uhr Nachmittags wird er am stärksten, nimmt dann wieder ab, und gegen Untergang der Sonne tritt eine Windstille ein. Nun erkalten Land und Meer durch die Wärmestrahlung gegen den Himmelsraum, das Land erkaltet aber rascher als das Meer, und nun strömt die Luft in den unteren Regionen vom Lande nach dem Meere, während in den oberen Luftregionen eine entgegengesetzte Strömung stattfindet.

Zu den Ursachen, welche Luftströmungen, ja die heftigsten Stürme erzeugen können, ist auch eine schnelle Condensation des atmosphärischen Wasserdampfes zu zählen. Wenn man bedenkt, welch eine ungeheure Wassermasse während eines Platzregens in wenigen Minuten zur Erde fällt, welch ungeheures Volumen dieses Wasser eingenommen haben muß, als es noch in Dampfgestalt in der Atmosphäre schwebte, so ist klar, daß durch die rasche Condensation dieser Wasserdämpfe eine bedeutende Luftverdünnung bewirkt wird und daß die Luft von allen Seiten her mit Gewalt in den verdünnten Raum eindringen muß, um so mehr, als da, wo die Condensation der Wasserdämpfe stattfindet, die Temperatur der Luft durch die frei werdende Wärme erhöht und dadurch ein kräftig aufsteigender Luftstrom erzeugt wird.

Oft sieht man die Wolken in anderer Richtung ziehen, als die ist, welche die Windfahnen zeigen, und oft ziehen die höheren Wolken in anderer Richtung als die tiefer schwebenden, woraus hervorgeht, daß in verschiedenen Höhen Luftströmungen nach verschiedener Richtung stattfinden.

294 **Passatwinde und Moussons.** Als Columbus auf seiner Entdeckungsreise nach Amerika seine Schiffe durch einen beständigen Ostwind fortgetrieben sah, wurden seine Gefährten mit Schrecken erfüllt, weil sie fürchteten, nimmer nach Europa zurückkehren zu können. Dieser in den Tropen beständig von Osten nach Westen wehende Wind, welcher so sehr das Erstaunen der ersten Seefahrer des 15. Jahrhunderts erregte, ist der Passatwind. Die Schiffer benutzen diesen Wind, um von Europa nach Amerika zu segeln, indem sie von Madeira aus südlich bis in die Nähe des Wendekreises steuern, wo sie dann durch den Passat nach Westen getrieben werden. Diese Reise ist so sicher und die Arbeit der Matrosen dabei so gering, daß die spanischen Seeleute diesen Theil des atlantischen Oceans den Frauengolf (el golfo de las Damas) nannten. Auch in der Südsee weht dieser Wind; die spanischen Schiffer ließen sich durch ihn in gerader Linie von Acapulco nach Manilla treiben.

Im atlantischen Ocean erstreckt sich der Passatwind bis zum 29., im großen Ocean nur bis zum 25. Grade nördlicher Breite. In der nördlichen Hälfte der heißen Zone ist die Richtung des Passatwindes eine nordöstliche; je mehr er sich aber dem Aequator nähert, desto mehr wird seine Richtung rein östlich. Die Gränze des Passats ist in der südlichen Halbkugel weniger genau bestimmt, dort aber hat der Passat eine südöstliche Richtung, die mehr und mehr östlich wird, je weiter er gegen den Aequator vordringt.

Diese Winde wehen rund um die ganze Erde, doch sind sie in der Regel erst 50 Meilen weit vom festen Lande entschieden merklich.

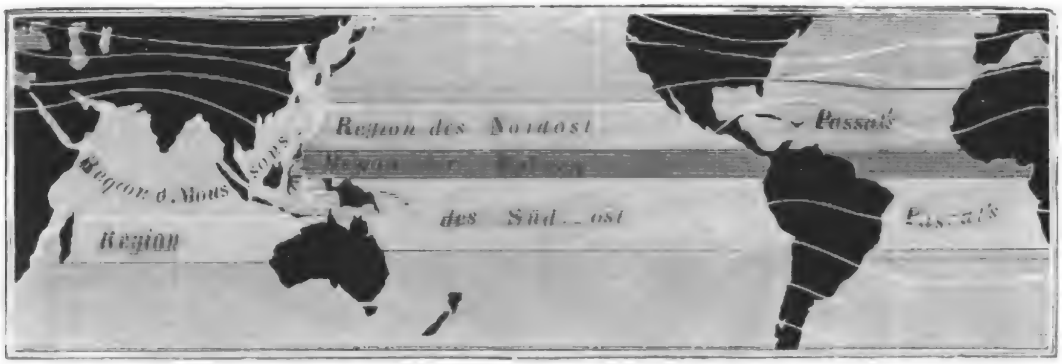
Da, wo der Nordostpassat der nördlichen und der Südostpassat der südlichen Hemisphäre zusammentreffen, combiniren sie sich zu einem rein östlichen Winde, der aber unmerklich wird, weil die horizontale Bewegung der durch die Intensität der Sonnenstrahlen stark erwärmten und deshalb mächtig aufsteigenden Luft eben durch diese verticale Bewegung neutralisirt wird. Es würde in diesen Gegenden eine fast vollkommene Windstille herrschen, wenn nicht die heftigen Stürme, welche die fast täglich unter Donner und Blitz stattfindenden Regengüsse begleiten, die Ruhe der Atmosphäre störten und das Wehen sanfter regelmäßiger Winde unmöglich machten.

Diese Zone, welche die Passatwinde der beiden Hemisphären trennt, ist die Region der Calmen.

Das Kärtchen Fig. 549 dient dazu, die Gegenden zu zeigen, in welchen die Passatwinde herrschen. Die Mitte der Region der Calmen, welche im Durchschnitt eine Breite von 6° hat, fällt nicht, wie man wohl erwarten sollte, mit dem Aequator zusammen, sondern sie liegt nördlich von demselben. Während unserer Sommermonate ist der Gürtel der Calmen breiter, und seine nördliche

Gränze entfernt ſich mehr vom Aequator, während die ſüdliche Gränze ſich nur wenig ändert.

Fig. 549.



Die Urſache davon, daß die Region der Calmen auf der nördlichen Hemiſphäre liegt, iſt wohl in der Configuration der Continente zu ſuchen.

Die Paſſatwinde laſſen ſich leicht erklären. Die Luft, welche in den Aequatorialgegenden ſtark erwärmt in die Höhe ſteigt, erhebt ſich über die kälteren Luftmaſſen zu beiden Seiten und ſtrömt oben nach den Polen hin ab, während unten die Luft von den Polen her dem Aequator zufließt. Wenn die Erde keine Axendrehung hätte, ſo würde der Paſſatwind auf der nördlichen Halbkugel gerade von Norden nach Süden, auf der ſüdlichen Hemiſphäre aber in entgegengeſetzter Richtung wehen. Nun aber dreht ſich die Erde von Weſten nach Oſten, und das Luftmeer, welches ſie umgiebt, theilt die Rotationsbewegung.

Je näher ein Ort der Erdoberfläche den Polen liegt, deſto langſamer wird er ſich in dem während 24 Stunden zu beſchreibenden Kreiſe fortbewegen, weil dieſer Kreis um ſo kleiner iſt, je weiter man ſich vom Aequator entfernt. Demnach iſt auch die Rotationsgeſchwindigkeit der über der Erde ruhenden Luftmaſſe in der Nähe der Pole geringer als am Aequator; wenn nun eine Luftmaſſe aus höheren Breiten dem Aequator zugeführt wird, ſo langt ſie mit geringerer Rotationsgeſchwindigkeit über Länder an, welche ſich ſchneller von Weſten nach Oſten bewegen; in Beziehung auf dieſen unter ihr ſich fortbewegenden Boden hat ſie alſo eine Bewegung von Oſten nach Weſten. Dieſe Bewegung combinirt ſich mit der gegen den Aequator hin fortſchreitenden Bewegung auf der nördlichen Halbkugel zu einem Nord-, auf der ſüdlichen aber zu einem Südoſtwinde.

Die in den Aequatorialgegenden aufſteigende Luft fließt in der Höhe nach beiden Seiten hin ab, um ſich nach den Polen hin zu ergießen. Die Richtung dieſes oberen Paſſats iſt natürlich der des unteren gerade entgegengeſetzt, ſie iſt in der nördlichen Halbkugel eine ſüdweſtliche, in der ſüdlichen Halbkugel eine nordweſtliche.

Daß in den oberen Luftregionen wirklich ein Paſſat weht, welcher dem unteren entgegengeſetzt iſt, läßt ſich durch Thatſachen beweiſen; ſo wurde z. B. am 25. Februar 1835 bei einem Ausbruche des Vulcans von Coſiguina im Staate Guatemala die Aſche bis in die Höhe des oberen Paſſats geſchleudert,

der sie in südwestlicher Richtung fortführte, so daß sie auf der Insel Jamaica niederfiel, obgleich in den unteren Regionen der Nordostpassat herrschte.

In größerer Entfernung vom Aequator senkt sich der obere Passat mehr und mehr gegen die Erdoberfläche. Auf dem Gipfel des Piks von Teneriffa herrschen fast immer Westwinde, während am Meeresspiegel der untere Passat weht.

Im indischen Ocean ist die Regelmäßigkeit der Passatwinde durch die Configuration der Ländermassen, welche dieses Meer umgeben, namentlich aber durch den asiatischen Continent, gestört. Im südlichen Theile des indischen Oceans, zwischen Neuholland und Madagaskar, herrscht noch das ganze Jahr hindurch der Südostpassat, in dem nördlichen Theile dieses Meeres aber weht während der einen Hälfte des Jahres ein beständiger Südwest-, während der anderen Hälfte des Jahres ein beständiger Nordostwind. Diese regelmäßig abwechselnden Winde werden Moussons genannt.

Der Südwestwind weht vom April bis zum October, während der übrigen Monate des Jahres weht der Nordostwind.

Während in den Wintermonaten der asiatische Continent erkaltet, die Sonne aber in den südlicheren Gegenden eine größere Wärme erzeugt, muß natürlich ein Nordostpassat von dem kälteren Asien nach den heißeren Gegenden wehen. In dieser Zeit ist auch im indischen Ocean der Nordostpassat von dem Südostpassat durch die Region der Calmen getrennt.

Während des Sommers wird das Wehen des Südostpassates zwischen Neuholland und Madagaskar nicht gestört, in den nördlichen Theilen des indischen Oceans aber, in welchen im Winter ein Nordostwind geherrscht hatte, wird dieser in einen Südwestwind verwandelt, weil sich nun der asiatische Continent sehr stark erwärmt und also eine Luftströmung nach Norden hin veranlaßt, welche durch die Rotation der Erde in einen Südwestwind verwandelt wird.

295 **Winde in höheren Breiten.** Der obere Passat, welcher die Luft von den Aequatorialgegenden zurückführt, senkt sich, wie schon erwähnt wurde, immer mehr und erreicht endlich als Südwestwind den Boden; außerhalb der Region der Passatwinde gehen daher die beiden Luftströmungen, welche die Luft von den Polen zum Aequator und vom Aequator zurück nach den Polen führen, nicht mehr über einander, sondern neben einander her, sie streben einander gegenseitig zu verdrängen; bald erlangt der Südwest, bald der Nordost die Oberhand, und bei dem Uebergange aus einer dieser Windrichtungen in eine andere sehen wir die Zwischenwinde nach allen Richtungen der Windrose wehen.

Obgleich auch in höheren Breiten Südwest und Nordost die herrschenden Winde sind, so findet zwischen ihnen doch keine so regelmäßige periodische Abwechselung Statt wie bei den Moussons im indischen Oceane.

Die folgende Tabelle giebt die Häufigkeit der Winde in verschiedenen Ländern an; sie giebt nämlich an, wie oft im Durchschnitt unter je 1000 Tagen ein jeder der acht Hauptwinde weht.

Länder.	N.	N.O.	O.	S.O.	S.	S.W.	W.	N.W.
England	82	111	99	81	111	225	171	120
Frankreich	126	140	84	76	117	192	155	110
Deutschland . . .	84	98	119	87	97	185	198	131
Dänemark	65	98	100	129	92	198	161	156
Schweden	102	104	80	110	128	210	159	106
Rußland	99	191	81	130	98	143	166	192
Nordamerika . . .	96	116	49	108	123	197	101	210

Gesetz der Winddrehung. Obgleich bei einer oberflächlichen Be- 296
trachtung in unseren Gegenden die Aenderungen in der Windrichtung ganz regellos zu sein scheinen, so haben doch aufmerksamere Beobachter schon lange die Bemerkung gemacht, daß die Winde in der Regel in folgender Ordnung auf einander folgen:

$$S,\ SW,\ W,\ NW,\ N,\ NO,\ O,\ SO,\ S.$$

Am regelmäßigsten läßt sich diese Drehung des Windes während des Winters beobachten; die mit diesem Umschlagen zusammenhängenden Veränderungen des Barometers und des Thermometers hat Dove sehr schön mit folgenden Worten beschildert:

„Wenn der Südwest, immer heftiger wehend, endlich vollkommen durchgedrungen ist, erhöht er die Temperatur über den Gefrierpunkt, es kann daher nicht mehr schneien, sondern es regnet, während das Barometer seinen niedrigsten Stand erreicht. Nun dreht sich der Wind nach West, und der dichte Flockenschnee beweist ebenso gut den einfallenden kälteren Wind als das rasch steigende Barometer, die Windfahne und das Thermometer. Mit Nord heitert der Himmel sich auf, mit Nordost tritt das Maximum der Kälte und des Barometers ein. Aber allmälig beginnt dieses zu fallen, und feine Cirri zeigen durch die Richtung ihres Entstehens den oben eingetretenen südlicheren Wind, den das Barometer schon bemerkt, wenn auch die Windfahne nichts davon weiß und noch ruhig Ost zeigt. Doch immer bestimmter verdrängt der südliche Wind den Ost von oben herab, bei entschiedenem Fallen des Quecksilbers wird die Windfahne SO, der Himmel bezieht sich allmälig immer mehr, und mit steigender Wärme verwandelt sich der bei SO und S fallende Schnee bei SW wieder in Regen. Nun geht es von Neuem an, und höchst charakteristisch ist der Niederschlag auf der Ostseite von dem auf der Westseite gewöhnlich durch eine kurze Aufhellung getrennt."

Nicht immer läßt sich die Drehung des Windes so rein beobachten, wie es eben angeführt wurde, indem häufig ein Zurückspringen des Windes stattfindet; ein solches Zurückspringen wird aber weit häufiger auf der Westseite der Windrose beobachtet als auf der Ostseite. Eine vollständige Umdrehung des Windes

in entgegengesetzter Richtung, nämlich von *S* nach *O*, *N*, *W*, wird in Europa höchst selten beobachtet.

Die Erklärung dieses Gesetzes ergiebt sich durch die Verallgemeinerung der Erklärung der Passatwinde.

Wird die Luft durch irgend eine Ursache von den Polen nach dem Aequator getrieben, so kommt sie von Orten, deren Rotationsgeschwindigkeit geringer ist, an andere Orte, welche eine größere Rotationsgeschwindigkeit besitzen; ihre Bewegung erhält dadurch eine östliche Richtung, wie wir schon beim Passatwinde gesehen haben. Auf der nördlichen Halbkugel gehen deshalb die Winde, welche als Nordwinde entstehen, bei ihrem allmäligen Fortrücken durch *NO* in *O* über. Ist auf diese Weise ein Ostwind entstanden, so wird dieser, wenn die Ursache fortdauert, welche die Luft nach dem Aequator hintreibt, hemmend auf den Polarstrom wirken, die Luft wird die Rotationsgeschwindigkeit des Ortes annehmen, über welchem sie sich befindet, und wenn nun die Tendenz, nach dem Aequator zu strömen, immer noch fortdauert, so springt der Wind nach Norden zurück, und dieselbe Reihe von Erscheinungen wiederholt sich.

Wenn aber, nachdem die Polarströme eine Zeitlang geherrscht haben und die Windrichtung östlich geworden ist, Aequatorialströme eintreten, so wird der Ostwind durch Südost nach Süd umschlagen. Wenn die Luft von Süden nach Norden fortströmt, so gelangt sie mit der größeren Rotationsgeschwindigkeit derjenigen Parallelkreise, welche dem Aequator näher liegen, an Orte, welche eine geringere Rotationsgeschwindigkeit haben; sie wird also der von Westen nach Osten rotirenden Erdoberfläche mit noch größerer Rotationsgeschwindigkeit gleichsam voraneilen, die südliche Windrichtung wird allmälig südwestlich und dann ganz westlich werden müssen. Bei fortdauernder Tendenz der Luft, nach dem Pole zu strömen, wird der Wind alsbald wieder nach Süd zurückspringen, gerade so, wie der Ost nach Norden zurückspringt; wenn aber die Aequatorialströmung durch eine Polarströmung verdrängt wird, so schlägt der Westwind durch Nordwest nach Norden um.

Auf der südlichen Halbkugel muß der Wind in entgegengesetzter Richtung umschlagen.

Wo in den Tropen die Passatwinde wehen, giebt es an der Erdoberfläche selbst gar keine vollständige Drehung, die Richtung des Passates wird nur bei seinem Vordringen immer mehr östlich.

In der Region der Moussons findet im Laufe eines ganzen Jahres nur eine einzige Drehung Statt. Man sieht also, daß die Windverhältnisse der Tropen der einfachste Fall des Drehungsgesetzes sind.

297 **Stürme.** Die Stürme sind Folgen einer bedeutenden Störung im Gleichgewichte der Atmosphäre, und höchst wahrscheinlich rührt diese Störung von einer raschen Condensation der Wasserdämpfe her, wie dies schon oben angedeutet wurde.

Neuere Untersuchungen haben gezeigt, daß die Stürme meistens als große fortschreitende Wirbel zu betrachten sind.

In den Tropen wüthen die Stürme ungleich heftiger als in höheren Brei-

ten; die Zerſtörungen der Orkane, welche man in Amerika mit dem Namen der Tornados bezeichnet, ſind wahrhaft fürchterlich. So wurden z. B. durch den Sturm, welcher am 26. Juli 1825 Guadalope verwüſtete, ſolid gebaute Häuſer umgeriſſen; Kanonen wurden bis zur Brüſtung der Batterie, auf welcher ſie ſtanden, fortgeſchleudert, ein Brett von ungefähr 3 Fuß Länge, 8 Zoll Breite und 10 Linien Dicke wurde mit ſolcher Geſchwindigkeit durch die Luft gejagt, daß es den Stamm eines Palmbaumes, welcher ungefähr 17 Zoll im Durchmeſſer hatte, durch und durch bohrte.

Oft ſieht man bei ruhigem Wetter, wie Sand und Staub durch den Wind in wirbelnder Bewegung fortgeführt werden. Bei herannahenden Gewittern ſieht man ſchon größere Luftwirbel der Art, welche Staub, Blätter, Stroh u. ſ. w. mit in die Höhe nehmen. Die Tromben ſind nichts Anderes als ſolche Wirbel in größerem Maßſtabe; ſie werden in der Regel durch den Kampf zweier in den oberen Luftregionen in entgegengeſetzter Richtung wehender Winde erzeugt. Sie bilden gewöhnlich einen Doppelkegel; der obere Theil deſſelben, deſſen Spitze herabgeſenkt iſt, beſteht aus einer Wolkenmaſſe, während der untere

Fig. 550.

Kegel, dessen Spitze nach oben gerichtet ist, aus Wasser besteht, wenn das Meteor auf dem Meere oder über Seen und Flüssen sich bildet, oder aus Sand und sonstigen festen Körpern, wenn die Trombe über das Land herzieht. Tromben sind im Stande, Bäume zu entwurzeln, Häuser abzudecken, Balken mehrere hundert Schritte weit fortzuschleudern u. s. w. Die Wassertromben sind unter dem Namen der Wasserhosen bekannt. Fig. 550 (a. v. S) stellt eine im Jahre 1858 in der Nähe von Königswinter beobachtete Wasserhose dar.

Drittes Capitel.

Von der atmosphärischen Feuchtigkeit.

Verbreitung des Wasserdampfes in der Luft. Wenn man 298
an einem heißen Sommertage eine mit Wasser gefüllte Schale ins Freie stellt, so sieht man die Quantität des Wassers rasch abnehmen, es verdunstet, das heißt es geht in Dampfgestalt über und verbreitet sich in der Luft. Der Wasserdampf ist wie jedes andere farblose durchsichtige Gas für unsere Blicke unsichtbar, das Wasser scheint, indem es verdunstet, gänzlich verschwunden zu sein.

Das in der Luft verbreitete Wasser wird erst wieder sichtbar, wenn es, in seinen flüssigen Zustand zurückkehrend, Nebel oder Wolken, Thau oder Reif bildet. Wenn man sich von der Existenz des Wasserdampfes in der Luft überzeugen will, muß man ihn auf irgend eine Weise verdichten.

Ganz unmittelbar erhält man die Menge des in einem bestimmten Volumen Luft enthaltenen Wasserdampfes, wenn man die Luft durch ein mit hygroskopischen Substanzen gefülltes Rohr saugt. Um ein regelmäßiges Durchstreichen der Luft durch das Absorptionsrohr zu bewirken, wendet man einen Aspirator an. Es ist dies im Wesentlichen ein bis auf zwei Oeffnungen verschlossenes mit Wasser gefülltes Gefäß; aus der einen Oeffnung fließt durch ein Rohr beständig Wasser ab, die andere Oeffnung ist mit dem Absorptionsrohre in Verbindung, so daß hier eine dem ausfließenden Wasser gleiche Menge getrockneter Luft eintritt. Wie viel Wasserdampf in der durch das Absorptionsrohr gesaugten Luftmenge enthalten war, ergiebt sich, wenn man dies Rohr vor und nach dem Versuche wägt.

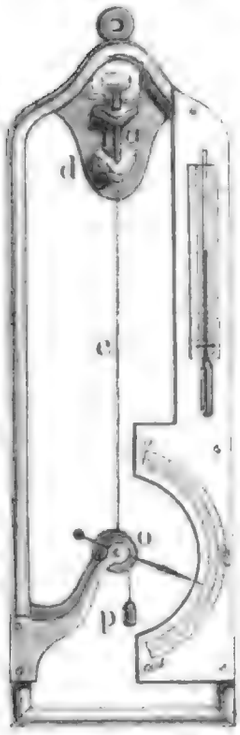
Diese Bestimmungsweise des Wassergehaltes der Luft mit dem Aspirator, dem man verschiedene, bald mehr, bald weniger zweckmäßige Formen gegeben hat, ist allerdings etwas umständlich und giebt auch nicht den Wassergehalt der Luft in einem bestimmten Momente, sondern den mittleren Wassergehalt während der ganzen Dauer des Versuches; man hat deshalb kleinere, leichter transportable Apparate construirt, welche unter dem Namen der Hygrometer bekannt sind.

Es ist bekannt, daß viele organische Körper die Eigenschaft haben, Wasserdampf zu absorbiren und sich dabei verhältnißmäßig zu verlängern. Unter anderen sind auch Haare, Fischbein u. s. w. solche hygroskopische Körper, und man

benutzte sie deshalb zur Construction von Hygrometern. Das beste Instrument der Art ist das von Saussure angegebene Haarhygrometer, welches Fig. 551 abgebildet ist.

Das Haar ist mit seinem oberen Ende an einem Zängelchen *d* befestigt, das andere Ende aber ist um eine mit zwei Rinnen versehene Rolle geschlungen, während in der anderen Rinne um die Rolle ein Seidenfaden geschlungen ist, an welchem ein kleines Gewicht *p* hängt, durch welches das Haar beständig gespannt erhalten wird. An der Axe der Rolle ist ein Zeiger befestigt, welcher an einem Gradbogen hin- und hergeht, wenn die Rolle durch die Verlängerung oder Verkürzung des Haares gedreht wird.

Fig. 551.



Wenn sich das Instrument in feuchter Luft befindet, so absorbirt das Haar viel Wasserdampf und wird dadurch länger, in trockener Luft aber verkürzt es sich, wodurch natürlich der Zeiger bald nach der einen, bald nach der anderen Seite gedreht wird.

Die Graduirung des Instrumentes wird auf folgende Weise bewerkstelligt. Zuerst bringt man das Instrument unter eine Glocke, deren innerer Raum durch Chlorcalcium oder durch Schwefelsäure ausgetrocknet wird. Die Stelle der Scala, auf welcher sich der Zeiger unter diesen Verhältnissen feststellt, ist der Punkt der größten Trockenheit, er wird mit 0 bezeichnet.

Nun bringt man das Instrument unter eine Glocke, deren Wände mit Wasser befeuchtet sind, während auch auf dem Boden, auf welchem die Glocke steht, Wasser ausgebreitet ist. Der Raum unter der Glocke sättigt sich bald mit Wasserdampf, und der Zeiger geht nach dem anderen Ende der Scala hin. Der Punkt, wo er sich jetzt feststellt, ist der Punkt der größten Feuchtigkeit, er wird mit 100 bezeichnet.

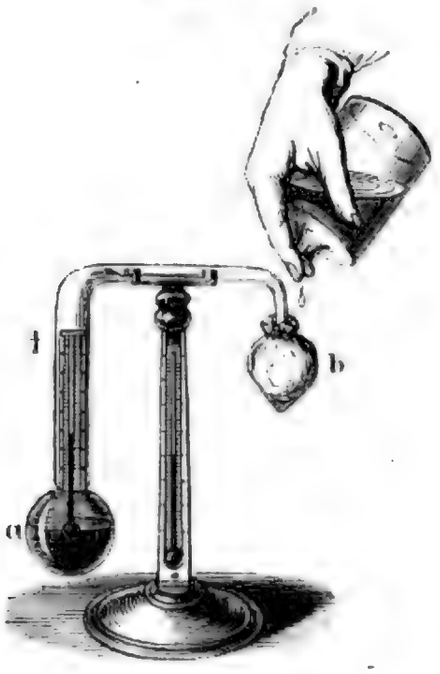
Der Zwischenraum zwischen diesen beiden Punkten wird in 100 gleiche Theile getheilt, welche man Feuchtigkeitsgrade nennt.

Die Beziehungen zwischen diesen Graden auf den Wassergehalt der Luft müssen an jedem Instrumente durch Versuche ermittelt werden, die wir nicht näher betrachten können.

299 **Daniell's Hygrometer** ist Fig. 552 dargestellt; es besteht aus einer gekrümmten Röhre, welche mit zwei Kugeln endigt; die eine, *a*, ist entweder vergoldet oder mit einer ganz dünnen glänzenden Platinschicht überzogen, die andere ist mit einem Läppchen feiner Leinwand umwickelt. Die Kugel *a* ist zur Hälfte mit Aether gefüllt und enthält ein kleines Thermometer, dessen Theilung in die Röhre *t* hineinragt. Der Apparat ist vollkommen luftleer. Wenn man nun Aether auf die Kugel *b* tröpfelt, so wird sie durch die Verdampfung des Aethers erkaltet, im Innern derselben werden Aetherdämpfe condensirt und

dadurch eine Verdampfung des Aethers in der Kugel *a* bewirkt, indem gewissermaßen der Aether aus der wärmeren Kugel *a* in die kältere *b* überdestillirt. Bei der Dampfbildung in der Kugel *a* wird aber ebenfalls Wärme gebunden, und sie beschlägt sich endlich mit einem zarten Thau.

Fig. 552.



Die Entstehung dieses Thaues läßt sich leicht erklären. Wir haben schon oben gesehen, daß im leeren Raume die Spannkraft des Wasserdampfes für eine bestimmte Temperatur eine gewisse Gränze nicht übersteigen kann, daß aber das Maximum der Spannkraft mit der Temperatur steigt. Für eine Temperatur von 20° z. B. ist das Maximum der Spannkraft des Wasserdampfes 17,4 Millimeter und die entsprechende Dichtigkeit des Wasserdampfes 0,0000173; in einem luftleeren Raume von 1 Cubikmeter können also bei einer Temperatur von 20° höchstens 17,3 Gramm Wasser als Dampf enthalten sein.

Wir haben aber ferner gesehen, daß in einem lufterfüllten Raume gerade ebenso viel Wasserdampf enthalten sein kann als in einem gleich großen luftleeren Raume, und daß sich in diesem Falle die Spannkraft der Luft und die Spannkraft des in ihr verbreiteten Wasserdampfes summiren. Bei einer Temperatur von 20° können also in einem Cubikmeter Luft ebenfalls 17,3 Gramm Wasser als Dampf enthalten sein.

Man sagt, die Luft sei mit Wasserdampf *gesättigt*, wenn der in ihr verbreitete Wasserdampf das ihrer Temperatur entsprechende Maximum der Spannkraft und Dichtigkeit erreicht hat.

Bringt man in eine mit Feuchtigkeit gesättigte Luft einen kälteren Körper, so wird dieser die nächsten Luftschichten erkalten, ein Theil des in ihnen enthaltenen Wasserdampfes wird sich verdichten müssen und setzt sich in Form von feinen Tröpfchen an den kalten Körper an. Auf diese Weise bildet sich der Beschlag an den Fensterscheiben in einem bewohnten erwärmten Zimmer, wenn die Temperatur der äußeren Luft niedrig genug ist, um die Fensterscheiben hinlänglich zu erkalten.

Nicht immer ist die Luft mit Feuchtigkeit gesättigt, d. h. es ist nicht immer in derselben gerade so viel Wasserdampf enthalten, als sie bei ihrer Temperatur aufnehmen könnte. Nehmen wir z. B. an, jedes Cubikmeter Luft enthielte bei einer Temperatur von 20° nur 13,63 Gramm Wasserdampf, so ist sie nicht gesättigt; denn bei dieser Temperatur könnte ja jedes Cubikmeter Luft 17,3 Gramm Wasserdampf enthalten.

Die Temperatur, für welche eben die Verdichtung des Wasserdampfes be-

ginnt, die Temperatur also, für welche die Luft gerade mit Wasserdampf gesättigt ist, heißt der Thaupunkt.

Der Thaupunkt ist es nun, welchen man am Daniell'schen Hygrometer beobachtet; sobald nämlich die Kugel *a* bis zur Temperatur des Thaupunktes erkaltet ist, fängt die Kugel an sich zu beschlagen, die Temperatur des Thaupunktes liest man unmittelbar an dem in die Kugel *a* hineinragenden Thermometer ab.

Wenn man nun eine Tabelle zur Hand nimmt, in welcher man das Maximum des Wassergehaltes in einem Raume von 1 Cubikmeter für jeden einzelnen Temperaturgrad angegeben findet, so kann man in einer solchen Tabelle sogleich finden, welches der dem beobachteten Thaupunkt entsprechende Wassergehalt der Luft ist.

300 **August's Psychrometer** ist Fig. 553 dargestellt; es besteht aus zwei an einem und demselben Gestelle befestigten Thermometern; die Kugel des einen ist mit einem feinen Leinwandläppchen umgeben, während die Kugel des anderen frei bleibt; wenn man die Hülle der einen Thermometerkugel mit Wasser befeuchtet, so wird das Wasser verdunsten, und zwar wird die Verdunstung um so rascher vor sich gehen, je weiter die Luft von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist. Die Verdunstung des Wassers ist aber von einer Wärmebindung begleitet, in Folge deren das umwickelte Thermometer sinkt. Wenn die Luft vollkommen mit Feuchtigkeit gesättigt ist, so wird kein Wasser verdampfen können, die beiden Thermometer stehen alsdann gleich hoch; ist aber die Luft nicht mit Wasserdampf gesättigt, so wird das umwickelte Thermometer sinken, und zwar um so tiefer, je weiter die Luft von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist. Aus der Temperaturdifferenz der beiden Thermometer kann man auf den Feuchtigkeitszustand der Luft schließen.

Fig. 553.

301 **Tägliche und jährliche Variationen im Wassergehalte der Luft.** Da bei hoher Temperatur mehr Wasserdampf in der Luft verbreitet sein kann, da mit steigender Wärme das Wasser an der Oberfläche der Gewässer und vom feuchten Boden mehr und mehr verdunstet, so läßt sich wohl erwarten, daß der Wassergehalt der Luft im Laufe eines Tages ab- und zunehmen wird.

Durch Verſuche mit den oben beſchriebenen Inſtrumenten hat man ermittelt, daß ſich im Allgemeinen die Menge des Waſſerdampfes in der Luft vermehrt, wenn von Sonnenaufgang an die Temperatur ſteigt; jedoch dauert dies nur bis 9 Uhr, wo ein durch die ſtarke Erwärmung des Bodens veranlaßter aufwärtsſteigender Luftſtrom die Dämpfe mit in die Höhe nimmt, ſo daß der Waſſergehalt der unteren Luftſchichten geringer wird, obgleich bei immer zunehmender Wärme die Bildung der Dämpfe fortdauert. Dieſe Abnahme dauert bis gegen 4 Uhr; jetzt nimmt der Waſſergehalt der unteren Luftſchichten wieder zu, weil nun die nach oben gerichtete Luftſtrömung aufhört, den ſich bildenden Waſſerdampf wegzuführen; jedoch dauert dieſe Zunahme nur bis gegen 9 Uhr Abends, weil nun die immer mehr ſinkende Temperatur der Luft der ferneren Dampfbildung eine Gränze ſetzt.

Im Winter, wo die Wirkung der Sonne weniger intenſiv iſt, verhält ſich die Sache anders; im Januar beobachtete man nur ein Maximum des Waſſergehaltes der Luft um 2 Uhr Nachmittags und ein Minimum zur Zeit des Sonnenaufgangs.

Wir ſagen: „die Luft iſt trocken,“ wenn das Waſſer raſch verdunſtet und wenn befeuchtete Gegenſtände durch dieſes raſche Verdunſten ſchnell trocken werden; dagegen ſagen wir: „die Luft iſt feucht,“ wenn befeuchtete Gegenſtände an der Luft nur langſam oder gar nicht trocknen, wenn die geringſte Temperaturerniedrigung feuchte Niederſchläge bewirkt, und wenn etwas kältere Gegenſtände ſich mit Feuchtigkeit überziehen. Wir nennen alſo die Luft trocken, wenn ſie weit von ihrem Sättigungspunkte entfernt iſt, feucht dagegen, wenn der Thaupunkt der Temperatur der Luft ſehr nahe liegt; mit dieſem Urtheile über die Trockenheit oder Feuchtigkeit der Luft verbinden wir alſo durchaus kein Urtheil über den abſoluten Waſſergehalt der Luft. Wenn an einem heißen Sommertage bei einer Temperatur von 25° C. jedes Cubikmeter Luft 13 Gramm Waſſerdampf enthält, ſo ſagen wir, die Luft ſei ſehr trocken; denn bei dieſer Temperatur könnte jedes Cubikmeter Luft 22,5 Gramm Waſſerdampf enthalten, oder die Luft müßte bis auf 15° erkaltet werden, um bei unverändertem Waſſergehalte geſättigt zu ſein. Wenn dagegen im Winter bei einer Temperatur von + 2° jedes Cubikmeter Luft nur 6 Gramm Waſſerdampf enthält, ſo iſt die Luft ſehr feucht, weil die Luft für die herrſchende Temperatur beinahe vollſtändig mit Waſſerdampf geſättigt iſt und die geringſte Temperaturerniedrigung ſchon einen Niederſchlag zur Folge hat.

In dieſem Sinne können wir ſagen, daß zur Zeit des Sonnenaufgangs die Luft am feuchteſten iſt, obgleich der abſolute Waſſergehalt geringer iſt als zu jeder anderen Tageszeit. Gegen 3 Uhr Nachmittags iſt im Sommer die Luft am trockenſten.

Der abſolute Waſſergehalt der Luft iſt wie die mittlere Lufttemperatur im Januar ein Minimum; er nimmt bis zum Juli zu, wo er ſein Maximum erreicht, dann aber nimmt er wieder ab bis zum Ende des Jahres.

Obgleich nun der Waſſergehalt der Luft im Sommer größer iſt als im

Winter, so sagt man doch, die Luft sei im Sommer trockener, weil sie im Sommer durchschnittlich weiter von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist.

302 **Feuchtigkeit der Luft in verschiedenen Gegenden.** Die Bildung des Wasserdampfes ist vorzugsweise von zwei Bedingungen abhängig, nämlich von der Temperatur und von der Gegenwart von Wasser. Bei einem unbegränzten Wasservorrathe werden sich um so mehr Wasserdämpfe bilden, je höher die Temperatur ist; bei gleicher Temperatur aber werden sich in wasserreichen Gegenden mehr Dämpfe bilden können als in wasserarmen. Daraus folgt nun, daß der absolute Wassergehalt der Luft unter sonst gleichen Umständen von dem Aequator nach den Polen hin abnehmen muß, und daß sie im Inneren der großen Continente trockener, d. h. weiter von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist, als auf dem Meere und an den Meeresküsten. Wie sehr die Trockenheit der Luft mit der Entfernung vom Meere zunimmt, beweist schon die Heiterkeit des Himmels der Binnenländer.

303 **Der Thau.** Es ist oben, auf Seite 546, bemerkt worden, wie der feine Thau auf der glänzenden Kugel des Daniell'schen Hygrometers entsteht, wenn diese Kugel erkaltet wird. Ebenso erklärt sich die Thaubildung im Großen.

Wenn im Sommer nach Sonnenuntergang der Himmel heiter und die Luft ruhig bleibt, so werden die verschiedenen Gegenstände auf der Erdoberfläche durch die nächtliche Strahlung gegen den Himmelsraum mehr und mehr erkalten, ihre Temperatur sinkt um 2, 3, ja manchmal um 7 bis 8° unter die Temperatur der Luft herab, die kalten Körper erniedrigen auch die Temperatur der sie zunächst umgebenden Luftschichten; und wenn diese bis zum Thaupunkte erkaltet sind, so wird sich ein Theil des in ihnen enthaltenen Wasserdampfes in Form von feinen Tröpfchen an die kalten Körper ansetzen.

Da nicht alle Körper gleiches Wärmestrahlungsvermögen haben, so erkalten auch einige stärker als andere, und so kommt es, daß manche Körper stark mit Thau überzogen sind, während andere fast ganz trocken bleiben. Gras und Blätter erkalten besonders stark durch die nächtliche Strahlung, theils weil sie ein sehr starkes Strahlungsvermögen besitzen, theils aber auch, weil sie frei in die Luft hineinragen, so daß ihnen vom Boden aus nur wenig Wärme zugeleitet werden kann; man findet sie deshalb stärker bethaut als Steine und den nackten Boden.

Eine Wolkendecke, welche den Himmel überzieht, hindert die Thaubildung, weil sie die nächtliche Strahlung hindert. Auch wenn ein nur etwas lebhafter Wind weht, thaut es nicht, weil er beständig von Neuem warme Luft mit den festen Körpern in Berührung bringt, wodurch diesen fortwährend Wärme zugeführt wird und die Luft an ihnen vorbeistreicht, ehe sie bis zum Thaupunkte erkaltet werden kann.

Der Reif ist nichts Anderes als gefrorener Thau. Wenn der Körper, an welchem sich der condensirte Wasserdampf absetzt, unter 0° erkaltet ist, so

kann er sich nicht mehr in flüssiger Gestalt, sondern in Form von Eisnadeln absetzen.

Nebel und Wolken. Wenn die Wasserdämpfe, aus einem Topfe 304
mit kochendem Wasser aufsteigend, sich in der kälteren Luft verbreiten, so werden sie alsbald verdichtet, es entsteht der Schwaden, welcher aus einer Menge kleiner hohler Wasserbläschen besteht, die in der Luft schweben. Man nennt diese Schwaden auch öfters Dampf, doch ist es kein eigentlicher Dampf mehr, wenigstens kein Dampf im physikalischen Sinne des Wortes, denn es ist ja ein verdichtetes Wassergas.

Wenn die Verdichtung der Wasserdämpfe nicht durch Berührung mit kalten festen Körpern, sondern durch die ganze Masse der Luft hindurch vor sich geht, so entstehen Nebel, welche im Großen dasselbe sind wie der Schwaden, den wir über kochendem Wasser sehen.

Die Nebel entstehen gewöhnlich, wenn das Wasser der Seen und Flüsse oder der feuchte Boden wärmer sind als die schon mit Feuchtigkeit gesättigte Luft. Die Dämpfe, welche in Folge der höheren Temperatur des Wassers oder des feuchten Bodens gebildet werden, verdichten sich alsbald wieder, wenn sie sich in der kälteren schon mit Wasserdämpfen gesättigten Luft verbreiten. Bei gleicher Temperaturdifferenz des Wassers und der Luft bilden sich keine Nebel, wenn die Luft trocken ist, so daß sich alle die Wasserdämpfe, welche vom Boden aufsteigen, in ihr verbreiten können, ohne sie zu sättigen.

Nach dem, was soeben über die Bildung des Nebels gesagt wurde, erklärt sich leicht, daß sich die Nebel vorzugsweise im Herbste über Flüssen und Seen und über feuchten Wiesen bilden. In England sind die Nebel besonders häufig, weil es von einem warmen Meere umspült ist; ebenso sind die warmen Gewässer des Golfstroms, welcher bis nach Neufoundland hinaufströmt, die Ursache der dort so häufigen dichten Nebel.

Manchmal beobachtet man Nebel unter scheinbar ganz verschiedenen Umständen; so sieht man dichte Nebel über den Flüssen, während die Luft wärmer ist als das Wasser oder das Eis. In diesem Falle ist die warme Luft mit Feuchtigkeit gesättigt, und wenn sie sich mit den Luftschichten mischt, welche durch die Berührung mit kaltem Wasser oder dem Eise schon eine niedrigere Temperatur erlangt haben, so muß nothwendig eine Condensation des Wasserdampfes erfolgen.

Auf dieselbe Weise entstehen auch im Sommer nach Gewitterregen die Nebel über Flüssen und Seen. Die Luft ist wärmer als die Oberfläche des Wassers, aber sie ist mit Feuchtigkeit gesättigt, und sobald sie sich an Orte verbreitet, an welchen die Frische des Wassers fühlbar ist, wird durch die Erkaltung der Wasserdampf verdichtet.

Der Nebel bildet sich jedoch nicht allein über Flüssen und Seen, sondern auch mitten im Lande, sobald durch Luftströmungen wärmere feuchte Luftmassen mit kälteren gemischt und ihre Temperatur unter den Thaupunkt erniedrigt wird.

Die Wolken sind nichts Anderes als Nebel, welche in den höheren Luftregionen schweben, sowie denn Nebel nichts sind als Wolken, welche auf dem Boden aufliegen. Oft sieht man die Gipfel der Berge in Wolken eingehüllt, während die Wanderer auf diesen Bergspitzen sich mitten im Nebel befinden.

Auf den ersten Anblick scheint es unbegreiflich, wie die Wolken in der Luft schweben können, da sie doch aus Bläschen bestehen, welche offenbar schwerer sind als die umgebende Luft. Da das Gewicht dieser kleinen Wasserbläschen im Vergleich zu ihrer Oberfläche sehr gering ist, so muß die Luft ihrem Falle einen bedeutenden Widerstand entgegensetzen; sie können sich jedenfalls nur sehr langsam herabsenken, wie ja auch eine Seifenblase, welche überhaupt mit unseren Dunstbläschen eine große Aehnlichkeit hat, in ruhiger Luft nur langsam fällt. Somit müssen aber doch die Dunstbläschen, wenn auch noch so langsam, sinken, und man sollte demnach meinen, daß bei ruhigem Wetter sich die Wolken doch endlich bis auf den Boden herabsenken müßten.

Die bei ruhigem Wetter allerdings herabsinkenden Dunstbläschen können aber den Boden nicht erreichen, weil sie bald in wärmere, nicht mit Dämpfen gesättigte Luftschichten gelangen, in welchen sie sich wieder in Dampf auflösen und dem Blicke entschwinden; während sich aber unten die Dunstbläschen auflösen, werden an der oberen Gränze neue gebildet, und so scheint die Wolke unbeweglich in der Luft zu schweben.

Wir haben eben die Dunstbläschen in ganz ruhiger Luft betrachtet. In bewegter Luft werden sie der Richtung der Luftströmung folgen müssen; ein Wind, welcher sich in horizontaler Richtung fortbewegt, wird die Wolken auch in horizontaler Richtung fortführen, und ein aufsteigender Luftstrom wird sie mit in die Höhe nehmen, sobald seine Geschwindigkeit größer ist als die Geschwindigkeit, mit welcher die Dampfbläschen in ruhiger Luft herabfallen würden. Sehen wir ja doch auch, wie die Seifenblasen durch den Wind fortgeführt und über Häuser hinweggetragen werden. So erklärt sich denn auch durch die aufsteigenden Luftströme das Steigen des Nebels.

Das Ansehen der Wolken ist, je nachdem sie höher oder tiefer schweben, je nachdem sie mehr oder weniger dicht, auf diese oder jene Weise beleuchtet sind u. s. w., gar mannigfaltig. Howard hat unter den verschiedenen Wolken folgende Hauptarten unterschieden:

1) Die Federwolke, cirrus, besteht aus sehr zarten, bald mehr streifigen, bald mehr locken- oder federartigen Fasern, welche nach schönem Wetter zuerst am Himmel erscheinen. In unserer Fig. 554 sieht man sie in dem Eck oben rechts bis herunter, wo die zwei Vögel schweben. Bei trockenem Wetter sind die Federwolken mehr streifig, bei feuchtem mehr verwaschen.

2) Die Haufenwolke, cumulus, welche in unserer Figur gerade unter die Federwolke gezeichnet ist, bildet große halbkugelförmige Massen, welche auf horizontaler Basis zu ruhen scheinen. Diese Wolken erscheinen vorzugsweise im Sommer; manchmal thürmen sich Haufenwolken zu malerischen Gruppen zusammen und bieten dann, von der Sonne beschienen, den Anblick ferner Schneegebirge.

3) Die Schichtwolken, stratus, ſind horizontale Wolkenſtreifen (in unſerer Figur unter dem cumulus), welche vorzugsweiſe bei Sonnenuntergang mit außerordentlicher Farbenpracht erſcheinen.

Fig. 554.

Dieſe Grundformen gehen auf mannigfaltige Weiſe in einander über; Howard hat dieſe Uebergangsformen durch die Namen cirro-cumulus, cirro-stratus, cumulo-stratus und nimbus bezeichnet.

Die fedrige Haufenwolke, cirro-cumulus, iſt der Uebergang der Federwolke zur Haufenwolke; es ſind die kleinen, weißen, runden Wölkchen, welche unter dem Namen Schäfchen allgemein bekannt ſind.

Wenn die Federwolken nicht einzeln zerſtreut, ſondern zu Streifen von bedeutender Ausdehnung verbunden ſind, ſo bilden ſie die fedrige Schichtwolke, cirro-stratus, welche, wenn ſie nahe am Horizonte ſtehen, den Anblick ausgedehnter Schichten bieten; oft überziehen die cirro-stratus den ganzen Himmel mit einem Schleier.

Wenn die Haufenwolken dichter werden, ſo gehen ſie in die ſtreifige Haufenwolke, cumulo-stratus, über, welche oft den ganzen Horizont mit einem blauſchwarzen Farbentone überziehen, und endlich in die eigentliche Regenwolke, nimbus (in unſerer Figur links), übergehen.

Wenn man bedenkt, wie außerordentlich mannigfaltig an Geſtalt ſowohl als auch an Farbe die verſchiedenen Wolken ſein können, ſo begreift man wohl,

daß es oft ſchwierig iſt zu unterſcheiden, ob das Anſehen einer Wolke ſich mehr dem einen oder dem anderen Typus nähert.

Unter allen Wolkenarten ſind die Federwolken die höchſten, denn auf hohen Bergen bieten ſie noch denſelben Anblick wie im Thale. Kämtz hat zu Halle ihre Höhe annähernd zu 20,000 Fuß beſtimmt. Es iſt höchſt wahrſcheinlich, daß die cirrus nicht aus Nebelbläschen, ſondern aus Eisnädelchen beſtehen.

Die Haufenwolken bilden ſich gewöhnlich, wenn durch den aufſteigenden Luftſtrom die Waſſerdämpfe in die Höhe geführt und dort, wegen der geringeren Temperatur, verdichtet werden. Daher kommt es, daß ſich oft gegen Mittag Wolken bilden, während die Sonne am heiteren Himmel aufgegangen iſt, und gegen Abend der Himmel wieder heiter wird, weil die Wolken ſich wieder ſenken, wenn der aufſteigende Strom aufhört; in tieferen, wärmeren Regionen angekommen, löſen ſich dann die Wolken wieder auf, wenn die Luft nicht mit Dämpfen geſättigt iſt. Wenn aber der Südweſtwind mehr und mehr Waſſerdämpfe herbeiführt, wenn die Luft mit Dämpfen geſättigt iſt, ſo können die ſich ſenkenden Wolken nicht wieder aufgelöſt werden, ſie werden dichter und dunkler, während oft hoch über den unteren Wolken eine Schicht von Federwolken ſchwebt. Die unteren Haufenwolken gehen dann mehr und mehr in cumulostratus über, und man hat alsdann Regen zu erwarten.

Wenn durch fortwährende Condenſation von Waſſerdämpfen die einzelnen Dunſtbläschen größer und ſchwerer werden, wenn endlich einzelne Bläschen ſich nähern und zuſammenfließen, ſo bilden ſich förmliche Waſſertropfen, welche nun als Regen herabfallen. In der Höhe ſind die Regentropfen noch ſehr klein, ſie werden aber während des Fallens größer, weil ſie wegen ihrer geringeren Temperatur die Waſſerdämpfe der Luftſchichten verdichten, durch welche ſie herabfallen.

305 **Regenmenge.** Die Menge des Regens, welcher an irgend einem Orte der Erde im Laufe des Jahres fällt, iſt für die Meteorologie ein höchſt wichtiges Element. Die Inſtrumente, deren man ſich zu dieſem Zwecke bedient, werden Regenmeſſer, Ombrometer oder Udometer genannt. Die Fig. 555 ſtellt den gewöhnlichen Regenmeſſer dar; er beſteht aus einem Blechgefäß *b*, deſſen quadratiſcher Querſchnitt ungefähr 1 Quadratfuß beträgt und auf welches ein zweites Gefäß *a* mit trichterartigem Boden aufgeſetzt wird. In der Mitte dieſes Trichters befindet ſich eine Oeffnung, durch welche alles Waſſer, welches in Form von Regen in das oben offene Gefäß *a* hineinfällt, in das Behälter *b* abfließt. Das unten gekrümmte Glasrohr *d* ſteht mit dem Innern des Gefäßes *b* in Verbindung, ſo daß man auf einer hinter *d* angebrachten Scala die Höhe des Waſſerſtandes in *b* ab-

Fig. 555.

lesen kann. Vorausgesetzt, daß die Querschnitte von *a* und *b* gleich sind, giebt die Höhe der Wassersäule in *d* an, wie hoch sich der Boden in einer gewissen Zeit mit Wasser bedeckt haben würde, wenn es nicht eingeschluckt worden oder verdunstet wäre.

Die jährliche Regenmenge beträgt

zu Lissabon	25	Par. Zoll
Dover	44	„
London	23	„
Paris	21	„
Regensburg	21	„
Bergen	83	„
Stockholm	19	„
Petersburg	17	„
Genua	44	„
Rom	29	„

Die Regenmenge ist jedoch nicht gleichförmig über das ganze Jahr vertheilt; in dieser Beziehung läßt sich Europa in drei Provinzen theilen.

In England, auf den Westküsten von Frankreich, in den Niederlanden und Norwegen sind die Herbstregen vorherrschend.

In Deutschland, den westrheinischen Gegenden, Dänemark und Schweden herrschen die Sommerregen vor.

Die Sommerregen fehlen im südöstlichen Frankreich, Italien, den südlichen Portugal, überhaupt dem Theile Europas, welcher Afrika zunächst liegt, fast ganz.

Die Anzahl der Regentage während eines Jahres nimmt in Europa im Allgemeinen von Süden nach Norden zu. Im Durchschnitte kommen auf das Jahr

im südlichen Europa	120	Regentage
„ mittleren „	146	„
„ nördlichen „	180	„

Daß die Regenmenge nicht allein von der Zahl der Regentage abhängen kann, ist klar; denn es kommt ja nicht allein darauf an, an wie vielen Tagen es regnet, sondern auch wie viel es regnet. Wenn in nördlicheren Gegenden die Zahl der Regentage zunimmt, so nimmt dagegen die Intensität des Regens im Allgemeinen ab, und so erklärt es sich z. B., daß in Petersburg die Zahl der Regentage zwar größer, die Regenmenge aber geringer ist, als in Rom.

Mit der Entfernung der Meere nimmt sowohl die Regenmenge, als auch die Zahl der Regentage ab; so kommen z. B. im Durchschnitt

in Petersburg	168
„ Kasan	90
„ Jakutzk	60

Regentage auf das ganze Jahr.

So wie unter sonst gleichen Umständen der Regen in wärmeren Gegenden intensiver ist als in kälteren, so ist er auch in der warmen Jahreszeit intensiver

als in der kalten. Im Durchschnitt kommen in Deutschland auf den Winter 38, auf den Sommer 42 Regentage; die Zahl der Regentage ist also im Sommer kaum etwas bedeutender als im Winter, und doch ist die Regenmenge im Sommer ungefähr doppelt so groß als im Winter. In den Sommermonaten fällt oft bei einem einzigen Gewitter mehr Regen als sonst in mehreren Wochen.

306 **Regen zwischen den Wendekreisen.** Da, wo die Passatwinde mit großer Regelmäßigkeit wehen, ist der Himmel meistens heiter, und es regnet selten, namentlich wenn die Sonne auf der anderen Hemisphäre steht. Auf den Continenten aber wird die Regelmäßigkeit des Passates durch die Intensität des aufsteigenden Luftstromes gestört, sobald sich die Sonne dem Zenith nähert; um diese Zeit stellt sich auch ein mehrere Monate andauerndes heftiges Regenwetter ein, während die andere Hälfte des Jahres hindurch der Himmel heiter und die Luft trocken ist.

Humboldt hat uns die Erscheinungen der nassen Jahreszeit im nördlichen Theile von Südamerika beschrieben. Vom December bis zum Februar ist die Luft trocken und der Himmel heiter. Im März wird die Luft feuchter, der Himmel weniger rein, der Passatwind weht weniger stark, und oft ist die Luft ganz ruhig. Mit Ende März beginnen die Gewitter; sie bilden sich des Nachmittags, wenn die Hitze am größten ist, und sind von heftigen Regengüssen begleitet. Gegen Ende Aprils fängt eigentlich die nasse Jahreszeit an; der Himmel überzieht sich mit einem gleichförmigen Grau, und es regnet täglich von 9 Uhr Morgens bis 4 Uhr Nachmittags; des Nachts ist der Himmel meistens rein. Der Regen wird am heftigsten, wenn die Sonne im Zenith steht. Allmälig wird die Zeit des Tages, in welcher es regnet, immer kürzer und gegen Ende der Regenzeit regnet es nur Nachmittags.

Die Dauer der Regenzeit ist in verschiedenen Gegenden nicht dieselbe, sie beträgt 3 bis 5 Monate.

In Ostindien, wo die Regelmäßigkeit der Passatwinde durch örtliche Verhältnisse gestört ist und wo statt ihrer die Moussons wehen, finden wir auch anormale Regenverhältnisse; an der steilen Westküste von Vorderindien fällt die Regenzeit mit der Zeit unseres Sommers zusammen, sie fällt nämlich in die Zeit, zu welcher die Südwestmoussons wehen und, mit Feuchtigkeit beladen, an die hohen Gebirge anstoßen. Während es auf der Küste Malabar regnet, ist auf der Ostküste Coromandel der Himmel heiter; hier stellt sich die Regenzeit mit dem Nordostpassat, also gerade zu der Zeit ein, zu welcher auf der Westküste die trockene Jahreszeit herrscht.

In der Region der Calmen findet man diese periodischen Regen nicht, es finden hier fast täglich heftige Regengüsse Statt. Der aufsteigende Luftstrom führt eine Masse von Wasserdämpfen in die Höhe, welche sich in den kälteren Regionen wieder verdichten. Die Sonne geht fast immer bei heiterem Himmel auf, gegen Mittag bilden sich einzelne Wolken, welche dichter und dichter werden, bis ihnen endlich, meist unter heftigen Windstößen und elektrischen Entla-

dungen, eine ungeheure Regenmenge entſtrömt. Gegen Abend zerſtreut ſich das Gewölk, und die Sonne geht wieder bei heiterem Himmel unter.

Die jährliche Regenmenge iſt im Allgemeinen in den Tropen ſehr groß; ſie beträgt z. B. in Bombay 73,5, in Kandy 68,9, in Sierra Leone 80,9, zu Rio Janeiro 55,6, auf St. Domingo 100,9, zu Havanna 85,7 und in Granada 105 Pariſer Zoll. Bedenkt man nun, daß der Regen meiſt nur auf wenige Monate vertheilt iſt und daß es nur an wenigen Stunden des Tages regnet, ſo iſt klar, daß der Regen ſehr ſtark ſein muß. In Bombay fiel an einem Tage 6 Zoll, zu Cayenne in 10 Stunden 10 Zoll Regen. Die Regentropfen ſind ſehr groß und fallen mit ſolcher Geſchwindigkeit nieder, daß ſie auf der nackten Haut ein ſchmerzhaftes Gefühl erzeugen.

Schnee und Hagel. Ueber die Bildung des Schnees weiß man bis 307
jetzt noch ſehr wenig. Wahrſcheinlich beſtehen die Wolken, in denen ſich die Schneeflocken zuerſt bilden, nicht aus Dunſtbläschen, ſondern aus feinen Eiskryſtällchen, welche durch fortwährende Condenſation von Waſſerdämpfen größer werden und ſo Schneeflocken bilden, welche ſelbſt noch beim Herabfallen durch die unteren Luftſchichten wachſen. Sind die unteren Luftregionen zu warm, ſo ſchmelzen die Schneeflocken, ehe ſie den Boden erreichen, es regnet unten, während es oben ſchneit.

Auf die regelmäßige Geſtalt der Schneeflocken, welche man am beſten beobachten kann, wenn man ſie auf einem dunklen, unter 0° erkalteten Körper auffängt, hat ſchon Kepler aufmerkſam gemacht. Fig. 556 und Fig. 557 zeigen einige Schneefiguren, welche ich im ſchneereichen Februar 1855 beobachtet habe.

Schon eine oberflächliche Betrachtung dieſer Figuren zeigt, daß ſich alle

Fig. 556.

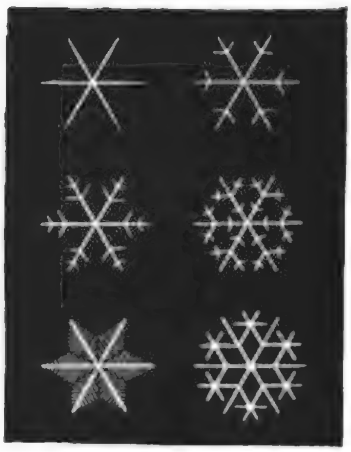
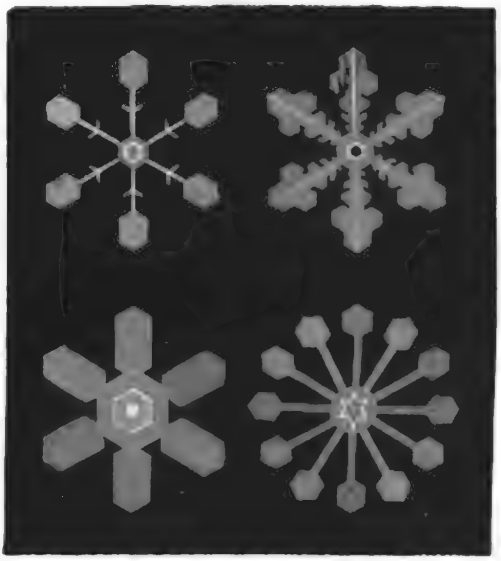


Fig. 557.



diese Gestalten im Wesentlichen auf einen regelmäßigen sechsseitigen Stern zurückführen lassen, wonach denn die Schneeflocken dem hexagonalen Krystallsysteme (dem Krystallsysteme des Bergkrystalls) angehören.

Der Graupelregen, den man gewöhnlich im März und im April beobachtet, entsteht auf ähnliche Art wie der Schnee; die Graupelkörner bestehen aus ziemlich fest zusammengeballten Eisnädelchen.

Der Hagel ist eine der furchtbarsten Geißeln für den Landmann und eines der schwierigsten Phänomene für den Meteorologen.

Die gewöhnliche Größe der Hagelkörner ist die einer Haselnuß; sehr häufig fallen kleinere, sie werden aber als weniger gefährlich nicht sonderlich beachtet, oft sind sie aber auch noch weit größer und zerschmettern dann Alles, was sie treffen.

Glaubhafte Naturforscher haben Hagelkörner beobachtet, welche 24 bis 26 Loth wogen.

Die Form der Hagelkörner ist sehr verschieden. In der Regel sind sie abgerundet, manchmal aber auch abgeplattet oder eckig. In der Mitte der Hagelkörner befindet sich in der Regel ein undurchsichtiger Kern, welcher den Graupelkörnern gleicht; dieser Kern ist mit einer durchsichtigen Eismasse umgeben, in welcher sich manchmal einzelne concentrische Schichten unterscheiden lassen; bisweilen beobachtet man abwechselnd durchsichtige und undurchsichtige Eisschichten, endlich hat man auch schon Hagelkörner mit strahliger Structur beobachtet.

Pouillet fand, daß die Temperatur der Hagelkörner — 0,5 bis — 4° beträgt.

Der Hagel geht gewöhnlich den Gewitterregen voran, oder er begleitet sie. Nie, oder wenigstens fast nie, folgt der Hagel auf den Regen, namentlich wenn der Regen einige Zeit gedauert hat.

Das Hagelwetter dauert meistens nur einige Minuten, selten dauert es $^1/_4$ Stunde lang. Die Menge des Eises, welches in so kurzer Zeit den Wolken entströmt, ist ungeheuer, die Erde ist manchmal Zoll hoch damit bedeckt.

Der Hagel fällt häufiger bei Tag als bei Nacht. Die Wolken, welche ihn bringen, scheinen eine bedeutende Ausdehnung und eine bedeutende Tiefe zu haben, denn sie verbreiten in der Regel eine große Dunkelheit. Man glaubt bemerkt zu haben, daß sie eine eigenthümliche grauröthliche Farbe besitzen, daß an ihrer unteren Gränze große Wolkenmassen herabhängen und daß ihre Ränder vielfach zerrissen erscheinen.

Die Hagelwolken scheinen meistens sehr niedrig zu schweben. Die Bergbewohner sehen öfters unter sich Wolken, welche die Thäler mit Hagel überschütten; ob jedoch die Hagelwolken immer so tief ziehen, läßt sich nicht mit Sicherheit ausmachen.

Einige Augenblicke vor dem Beginne des Hagelwetters hört man ein eigenthümliches, rasselndes Geräusch. Endlich ist der Hagel stets von elektrischen Erscheinungen begleitet.

Volta meinte, daß die Sonnenstrahlen an der oberen Gränze der dichten

Wolke faſt vollſtändig abſorbirt würden, was eine raſche Verdunſtung zur Folge haben müſſe, namentlich wenn die Luft über den Wolken ſehr trocken iſt; durch dieſe Verdunſtung ſollte ſo viel Wärme gebunden werden, daß das Waſſer in den tieferen Wolkenſchichten gefriert. Wenn aber die Verdunſtung des Waſſers in den oberen Wolkenſchichten durch die Wärme der Sonnenſtrahlen veranlaßt wird, ſo iſt nicht einzuſehen, warum durch dieſe Verdunſtung den tieferen Wolkenſchichten ſo viel Wärme entzogen werden ſoll.

Um zu erklären, wie die Hagelkörner oft eine ſo bedeutende Größe erlangen können, ſchlug Volta eine Theorie vor, welche eine große Celebrität erlangt hat; er nimmt an, daß zwei mächtige, mit entgegengeſetzter Elektricität geladene Wolkenſchichten über einander ſchweben. Wenn nun die noch ſehr kleinen Hagelkörner auf die untere Wolke fallen, ſo werden ſie bis zu einer gewiſſen Tiefe eindringen und ſich mit einer neuen Eisſchicht umgeben; ſie werden ſich aber auch mit der Elektricität der unteren Wolke laden und von dieſer zurückgeſtoßen, während die obere ſie anzieht; ſie ſteigen alſo trotz ihrer Schwere wieder zur oberen Wolke in die Höhe, wo ſich derſelbe Vorgang wiederholt; ſo fahren ſie eine Zeit lang zwiſchen den beiden Wolken hin und her, bis ſie endlich herabfallen, wenn ſie zu ſchwer werden und die Wolken ihre Elektricität verlieren.

Auch dieſer Theil der Volta'ſchen Theorie iſt ſehr unwahrſcheinlich. Um ein ſolches Tanzen der Hagelkörner zwiſchen zwei Wolken zu bewirken, müßten ſie eine enorm ſtarke elektriſche Ladung haben, die ſich aber durch die Vermittelung der Hagelkörner ſo ſchnell verlieren müßte, daß dieſen keine Zeit bliebe, zu einer namhaften Größe anzuwachſen.

Viel wahrſcheinlicher iſt dagegen die faſt gleichzeitig (1849) von Fr. Vogel und von Carl Nöllner aufgeſtellte Hageltheorie. Nach dieſer Theorie kann der Bläschendampf, welcher die Wolken bildet, ebenfalls weit unter den normalen Gefrierpunkt des Waſſers erkalten, ohne daß ein Erſtarren eintritt, wie man dies beim tropfbar flüſſigen Waſſer beobachtet (Seite 456). Wenn nun aus einer höheren Wolkenſchicht Graupelkörner durch eine in dieſem Zuſtande befindliche Wolke herabfallen, ſo muß ſich auf ihnen Waſſer niederſchlagen, welches augenblicklich erſtarrt. Bei der niedrigen Temperatur der Wolke kann auf dieſe Art in ganz kurzer Zeit eine maſſenhafte Eisbildung ſtattfinden.

Viertes Capitel.

Optische Erscheinungen der Atmosphäre.

---

308 **Farbe des Himmels.** Der heitere Himmel erscheint uns **blau**, und zwar ist dieses Blau, je nach dem Zustande der Atmosphäre, bald heller und weißlicher, bald dunkler; auf hohen Bergen erscheint der Himmel sehr dunkelblau, ja fast schwarz. Es ist dies leicht zu erklären; wenn die Luft absolut durchsichtig wäre, wenn die einzelnen Lufttheilchen gar kein Licht reflectirten oder vielmehr zerstreuten, so müßte uns der Himmel vollkommen schwarz erscheinen, die Sonne, der Mond, die Sterne würden glänzend auf dem schwarzen Grunde stehen; nun aber reflectiren die Lufttheilchen das Licht, und so kommt es, daß bei Tage der ganze Himmel hell erscheint, weil die von der Sonne erleuchteten Lufttheilchen das Licht nach allen Seiten hin zerstreuen. Diese Erleuchtung der Atmosphäre durch die Sonnenstrahlen ist die Ursache, daß wir die Sterne bei Tage nicht sehen können. Die Lufttheilchen reflectiren vorzugsweise das blaue Licht, und deshalb scheint uns der an und für sich dunkle Himmelsraum mit Blau überzogen. Je höher wir uns in die Atmosphäre erheben, desto dünner wird dieser blaue Ueberzug und desto dunkler wird uns also auch der Himmel erscheinen; so erscheint auch im Zenith der Himmel stets am dunkelsten blau und gegen den Horizont mehr weißlich.

Das reine Blau des Himmels wird besonders durch die in der Luft schwebenden condensirten Wasserdämpfe gebleicht, durch feine Nebel, welche oft den Himmel mit einem leichten Schleier überziehen, ohne doch schon dicht genug zu sein, um als Wolken zu erscheinen.

Die Erscheinungen der Abend- und Morgenröthe wurden dadurch erklärt, daß man sagte, die Luft lasse vorzugsweise die rothen und gelben Strahlen durch, sie reflectire aber die blauen; des Abends und des Morgens haben aber die Sonnenstrahlen einen sehr weiten Weg durch die Atmosphäre zurückzulegen, daher die rothe Färbung der durchgelassenen Strahlen, welche besonders brillant ist, wenn Wolken durch diese Strahlen beleuchtet werden.

Diese Meinung kann nicht ganz richtig sein, indem das Blau des Himmels durchaus nicht die complementäre Farbe des Abendrothes ist. Das Abendroth rührt wahrscheinlich von dem in der Luft enthaltenen Wasserdampfe her.

Wenn aus dem Sicherheitsventile einer Dampfmaschine, etwa einer Loco-

motive, eine Dampfsäule aufsteigt, so erblickt man durch dieselbe die Sonne tief orangeroth gefärbt. Nahe über dem Sicherheitsventile, zu welchem der Dampf herausbläst, ist dessen Farbe für durchgehendes Licht das erwähnte tiefe Orangeroth; in größerer Entfernung jedoch, wo der Dampf vollständiger verdichtet ist, hört die Erscheinung gänzlich auf. Selbst bei mäßiger Dicke ist die Dampfwolke durchaus undurchdringlich für die Sonnenstrahlen, sie wirft einen Schatten wie ein fester Körper; und wenn ihre Dicke gering ist, so ist sie zwar durchscheinend, aber durchaus farblos. Die Orangefarbe des Dampfes scheint also einer besonderen Stufe der Verdichtung anzugehören. Bei vollkommener Gasgestalt ist der Wasserdampf ganz durchsichtig und farblos; in jenem Uebergangszustande ist er durchsichtig und rauchroth; wenn er aber vollständig zu Nebelbläschen verdichtet ist, so ist er bei geringer Dicke durchscheinend und farblos, bei großer Dicke vollkommen undurchsichtig.

Als reine, farblose, elastische Flüssigkeit giebt der Wasserdampf der Luft ihre größte Durchsichtigkeit, wie man sie besonders beobachtet, wenn sich nach einem heftigen Regen der Himmel wieder aufhellt. Im Uebergangszustande läßt er die gelben und rothen Strahlen durch und bringt in diesem Zustande die Erscheinungen der Abendröthe hervor.

Diese Theorie erklärt auch sehr gut, daß das Abendroth weit brillanter ist als das Morgenroth, daß Abendroth und Morgengrau die Anzeigen schönen Wetters sind. Gleich nach dem Temperaturmaximum des Tages und vor Sonnenuntergang fangen der Boden und die Luftschichten in verschiedener Höhe an, Wärme durch Strahlung zu verlieren. Bevor sich aber in Folge dessen der Wasserdampf vollständig verdichtet, durchläuft er jenen Uebergangszustand, welcher die Abendröthe erzeugt. Des Morgens ist es anders. Die Dämpfe, welche bei Umkehrung des Processes wahrscheinlich das Roth erzeugt haben würden, steigen nicht eher auf, als bis die Wirkung der Sonne schon lange angehalten hat; alsdann ist aber die Zeit des Sonnenaufganges vorüber, die Sonne steht schon hoch am Himmel. Das feurige Ansehen des Morgenhimmels rührt von der Anwesenheit eines solchen Ueberschusses an Feuchtigkeit her, daß durch die Verdichtung in höheren Regionen wirklich Wolken entstehen, im Gegensatze mit der Tendenz der steigenden Sonne, sie zu zerstreuen; das Morgenroth ist deshalb als Vorbote baldigen Regens zu betrachten.

Wenn die Sonne am westlichen Horizonte verschwunden ist, so tritt nicht plötzlich die Dunkelheit ein, sondern eine Dämmerung, welche nach Umständen bald längere, bald kürzere Zeit dauert. Diese Dämmerung rührt daher, daß die Luft am westlichen Himmel und die in ihr schwebenden Wassertheilchen noch von der Sonne beschienen werden, nachdem sie unseren Blicken schon verschwunden ist, und daß diese erleuchteten Luft- und Wassertheilchen uns noch ein allmälig mehr und mehr abnehmendes Licht zusenden. In unseren Gegenden dauert die Dämmerung ungefähr, bis die Sonne 18^0 unter dem Horizonte ist. Die längere Dauer der Dämmerung in höheren Breiten rührt besonders daher, daß die Sonnenbahn hier stark gegen den Horizont geneigt ist, daß es also lange dauert, bis sie 18^0 unter dem Horizonte steht. Je mehr wir uns dem Aequa-

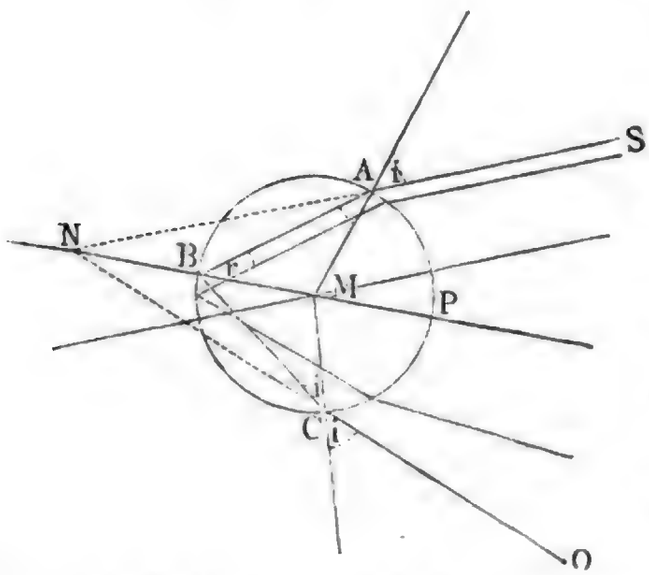
tor nähern, deſto weniger ſchräg iſt die Sonnenbahn gegen den Horizont; unter dem Aequator ſelbſt macht ſie einen rechten Winkel mit demſelben; in den heißen Ländern iſt deshalb die Dämmerung von kürzerer Dauer. In Italien iſt ſie kürzer als bei uns; in Chili dauert ſie nur $^1/_4$ Stunde, in Cumana nur einige Minuten. Dieſe kurze Dauer der Dämmerung läßt ſich jedoch nicht allein durch die Richtung der Sonnenbahn gegen den Horizont erklären, ſie hat zum Theil auch in der außerordentlichen Reinheit des Himmels ihren Grund; denn in unſeren Gegenden tragen die zarten, hoch in der Luft ſchwebenden Nebel, welche bei Tage den Himmel mit einem Schleier überziehen, die Lichtſtrahlen aber ſtark reflectiren, ſehr zur Verlängerung der Dämmerung bei.

309 **Der Regenbogen.** Es iſt allgemein bekannt, daß man einen Regenbogen ſieht, wenn man eine regnende Wolke vor ſich und die Sonne im Rücken hat. Der Regenbogen bildet gleichſam die Baſis eines Kegels, deſſen Spitze das Auge iſt und deſſen Axe mit der geraden Linie zuſammenfällt, welche man durch die Sonne und das Auge legen kann. Unter den eben angegebenen Bedingungen erſcheint auch der Regenbogen in dem Staubregen der Waſſerfälle und Springbrunnen.

Um den Regenbogen zu erklären, muß man den Weg der Sonnenſtrahlen durch die Regentropfen verfolgen.

Wenn ein Sonnenſtrahl SA, Fig. 558, einen Regentropfen trifft, ſo wird er gebrochen, und es iſt leicht, die Richtung des gebrochenen Strahles AB zu berechnen oder zu conſtruiren. Der gebrochene Strahl AB wird in B an der Rückwand des Tropfens nach C geſpiegelt und tritt dann nach einer zweiten Brechung in der Richtung CO aus. Der austretende Strahl CO macht mit dem einfallenden einen Winkel SNO.

Fig 558.



Es fallen aber parallel mit SA noch viele andere Sonnenſtrahlen auf den Tropfen, und wenn man für einige derſelben den Weg durch den Tropfen berechnet oder conſtruirt, wie dies in unſerer Figur noch für einen zweiten geſchehen iſt, ſo ergiebt ſich, daß die austretenden Strahlen nicht unter einander parallel ſind.

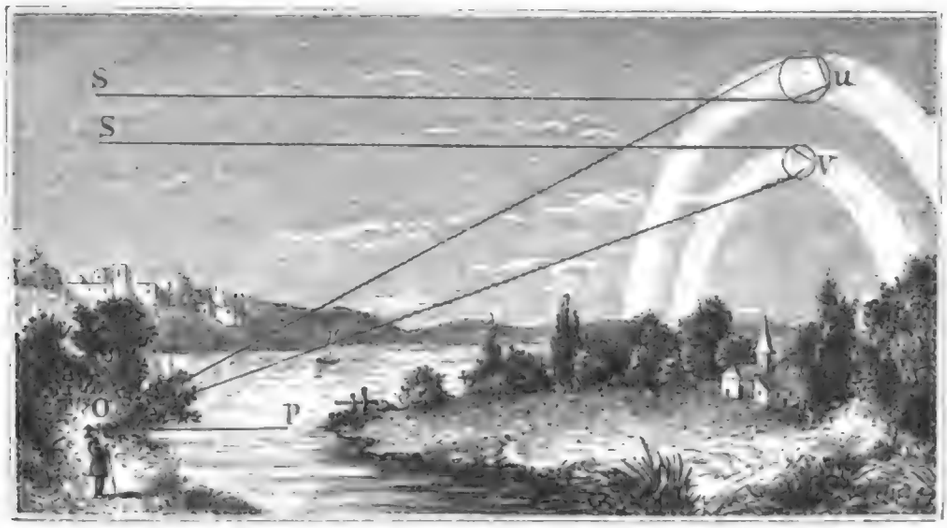
Während alſo ein paralleles Lichtbündel auf den Tropfen trifft, tritt ein ſtark divergirendes Strahlenbündel aus dem Tropfen aus. Es iſt begreiflich, daß durch dieſe Divergenz der aus dem Tropfen kommenden Strahlen die Stärke des Lichteindruckes, den ſie hervorbringen, ganz außerordentlich geſchwächt

wird, namentlich wenn die Tropfen in einer nur etwas bedeutenden Entfernung vom Auge sich befinden. Unter allen aus dem Tropfen nach zweimaliger Brechung und einmaliger Spiegelung ins Auge kommenden Strahlen können demnach nur diejenigen einen merklichen Lichteindruck machen, für welche diese Divergenz ein Minimum ist, oder mit anderen Worten, nur diejenigen, welche sehr nahe parallel austreten.

Bei genauerer Untersuchung ergiebt sich, daß eine ziemliche Menge parallel einfallender Strahlen den Tropfen in nahe gleicher Richtung verläßt, und zwar für rothes Licht diejenigen, für welche der Winkel SNO nahe $42^0\,30'$ ist; diese Strahlen werden unter allen aus dem Tropfen kommenden allein einen merklichen Lichteindruck hervorbringen können.

Denkt man sich durch die Sonne und das Auge des Beobachters eine gerade Linie OP, Fig. 559, gezogen und durch dieselbe Verticalebene gelegt;

Fig. 559.



zieht man ferner durch O eine Linie OV so, daß der Winkel $POV = 42^0\,30'$, so werden nach dieser Richtung hin sich befindende Regentropfen nach einmaliger innerer Spiegelung wirksame Strahlen ins Auge senden. Jedoch nicht allein in dieser Richtung empfängt das Auge wirksame Strahlen, sondern, wie leicht begreiflich, von allen Regentropfen, die in der Kegeloberfläche liegen, welche durch Umdrehung der Linie OV um die Axe OP entsteht; das Auge wird also einen lichten rothen Kreis sehen, dessen Mittelpunkt auf der von der Sonne durch das Auge gezogenen Geraden liegt und dessen Halbmesser unter einem Winkel von $42^0\,30'$ erscheint.

In der erwähnten Richtung sieht man einen Kreis, der als ein rother Ring von $30'$ Breite erscheint, weil die Sonne nicht ein Punkt, sondern eine Scheibe ist, die den scheinbaren Durchmesser $30'$ hat. Die wirksamen violetten Strahlen treten aber nach einer Richtung aus, welche einen Winkel von $40^0\,30'$ mit den einfallenden Strahlen macht, das Auge erblickt also einen violetten Ring von $30'$ Breite, dessen Radius nur $40^0\,30'$ beträgt. Zwischen diesen äußersten Bogen erscheinen die der übrigen prismatischen Farben, und so bildet also gewissermaßen der Regenbogen ein zu einem kreisförmigen Bogen aus-

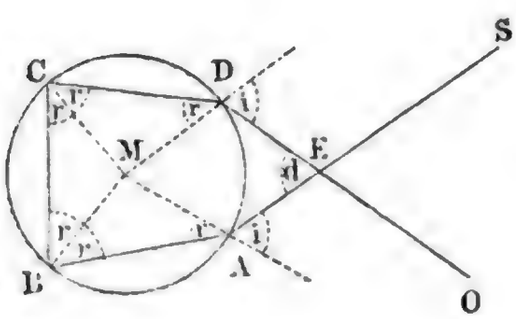
gedehntes Spectrum. Die ganze Breite des Regenbogens beträgt ungefähr 2^0, da ja der Halbmeſſer des rothen Bogens um 2^0 größer iſt als der des violetten.

Was die Ausdehnung des farbigen Bogens betrifft, ſo hängt ſie offenbar von der Höhe der Sonne über dem Horizonte ab. Wenn die Sonne eben untergeht, erſcheint der Regenbogen im Oſten, der Mittelpunkt des Bogens liegt dann gerade im Horizonte, weil die durch die Sonne und das Auge gezogene Linie eine horizontale iſt; wenn der Beobachter in der Ebene ſteht, ſo bildet der Regenbogen gerade einen Halbkreis, er kann aber mehr als einen Halbkreis überſehen, wenn er auf einer iſolirten Bergſpitze von geringer Breite ſteht. Bei Sonnenaufgang erſcheint der Regenbogen im Weſten. Je höher die Sonne ſteht, deſto tiefer liegt der Mittelpunkt des farbigen Bogens unter dem Horizonte, deſto kleiner iſt alſo das dem Auge ſichtbare Bogenſtück. Wenn die Sonne $42^0\,30'$ hoch ſteht, iſt für einen in der Ebene ſtehenden Beobachter gar kein Regenbogen mehr ſichtbar, weil alsdann der Gipfel deſſelben gerade in den Horizont, der ganze Bogen alſo unter den Horizont fallen würde. Von den Maſten der Schiffe ſieht man oft Regenbogen, welche einen ganzen Kreis bilden; ſolche ganz kreisförmige Regenbogen ſieht man auch oft an Waſſerfällen und Springbrunnen.

Außer dem eben beſprochenen Regenbogen ſieht man gewöhnlich noch einen zweiten größeren, mit dem erſteren concentriſchen, bei welchem die Ordnung der Farben die umgekehrte iſt; beim äußeren Regenbogen iſt nämlich das Roth innen, das Violet außen. Der äußere Regenbogen iſt weit weniger lichtſtark als der innere, er erſcheint weit blaſſer. Man hatte früher die irrige Anſicht, der zweite Regenbogen ſei gleichſam ein Spiegelbild des erſten. Die Entſtehung des äußeren Regenbogens beruht auf denſelben Principien wie die des inneren; er entſteht durch Sonnenſtrahlen, welche in den Regentropfen eine zweimalige Brechung und eine zweimalige innere Reflexion erlitten haben.

In Fig. 560 iſt der Gang eines Lichtſtrahles dargeſtellt, welchen derſelbe im Regentropfen nimmt, um ihn nach zweimaliger innerer Spiegelung zu verlaſſen. SA iſt der einfallende Sonnenſtrahl, welcher nach AB gebrochen, dann in B und C geſpiegelt wird und bei D in der Richtung DO wieder austritt. In dieſem Falle ſchneiden ſich der einfallende und der austretende Strahl und bilden einen Winkel d mit einander, deſſen Größe veränderlich iſt, je nachdem der einfallende Strahl den Tropfen an einer anderen Stelle, alſo unter einem anderen Einfallswinkel trifft.

Fig. 560.



In dieſem Falle machen die wirkſam austretenden rothen Strahlen einen Winkel von 50^0, die wirkſam austretenden violetten Strahlen machen einen

Winkel von $53^1/_2{}^0$ mit den einfallenden; das Auge erblickt also eine Reihe concentrischer farbiger Ringe, deren innerster roth ist und 50^0 Halbmesser hat, während der äußerste violette Ring einen Halbmesser von $53^1/_2{}^0$ hat.

Der äußere Regenbogen ist blasser, weil er durch Strahlen gebildet wird, welche eine zweimalige innere Spiegelung erlitten haben, da das Licht bei jeder Spiegelung eine Schwächung erleidet. Man würde noch einen dritten und einen vierten Regenbogen sehen können, welche durch Strahlen gebildet werden, die eine dreimalige und eine viermalige innere Spiegelung erlitten haben, wenn diese Strahlen nicht zu lichtschwach wären.

Höfe und Nebensonnen. Oft sieht man, wenn der Himmel mit 310
einem leichten Wolkenschleier überzogen ist, dicht um die Sonne und den Mond farbige Ringe. Sehr häufig sieht man diese Ringe nicht vollständig, sondern nur stückweise. Wenn man die Mondhöfe häufiger beobachtet als die Sonnenhöfe, so liegt der Grund darin, daß das Licht der Sonne zu blendend ist; man sieht aber diese auch, sobald man das Bild der Sonne in ruhigem Wasser oder in einem auf der Rückseite geschwärzten Spiegel betrachtet.

Diese Höfe haben die größte Aehnlichkeit mit der Glorie, welche man um eine Kerzenflamme sieht, wenn man sie durch eine mit semen lycopodii bestreute Glasplatte betrachtet, und sicherlich sind die Höfe ebenso wie dieses Phänomen zu den Interferenzerscheinungen zu zählen; die Dunstbläschen vertreten die Stelle der feinen Staubtheilchen.

Bisweilen sieht man auch noch zwei größere lichte Kreise um die Sonne und den Mond, welche mit den Höfen nicht zu verwechseln sind; der Halbmesser des kleineren dieser hellen Ringe erscheint unter einem Winkel von 22 bis 23^0, der des größeren aber unter einem Winkel von 46 bis 47^0; das Roth ist bei denselben nach innen gekehrt, der innere Rand ist schärfer, der äußere mehr verschwommen und weniger deutlich gefärbt. Selten erscheinen die beiden Kreise zu gleicher Zeit. Fig. 561 (a. f. S.) stellt die Erscheinung dar, wie man sie wohl am häufigsten zu beobachten die Gelegenheit hat; es ist nämlich der kleinere Ring von 22 bis 23^0 Radius; er ist durch einen horizontalen lichten Streifen durchschnitten, welcher sich oft bis zur Sonne selbst erstreckt. Da, wo dieser Streifen den Lichtring durchschneidet, ist er am hellsten; diese hellen Stellen, welche man zu beiden Seiten der Sonne am äußeren Umfange des Ringes sieht, sind die Nebensonnen; bisweilen erscheint eine solche Nebensonne auch vertical über der Sonne im Gipfel des Ringes; oft erscheint hier aber auch ein Berührungsbogen, wie er in Fig. 561 dargestellt ist. Oft sieht man die Nebensonnen auch ohne die Ringe, oder die Ringe ohne die Nebensonnen. Die Ringe und die Nebensonnen erscheinen ebenfalls nie bei ganz heiterem Himmel, sondern nur wenn derselbe mit einem Schleier überzogen ist.

Man hat die erwähnten Ringe durch eine Brechung des Lichtes in den in der Luft schwebenden Eisnadeln erklärt; wenn die Eisnadeln sechsseitige Säulen sind, so bilden immer je zwei nicht parallele und nicht zusammenhängende Seitenflächen einen Winkel von 60^0 mit einander, die Eisnadeln bilden also

gewiſſermaßen gleichſeitige, dreiſeitige Prismen, für welche das Minimum der Ablenkung ungefähr 23° beträgt. Solche Strahlen nun, welche in den Eisnadeln

Fig. 561.

das Minimum der Ablenkung erlitten haben, ſind den wirkſamen Strahlen des Regenbogens analog, weil viele Strahlen ſehr nahe in derſelben Richtung austreten. Dieſe Hypotheſe erklärt alſo zugleich die Bildung des Ringes, ſeine Größe und die Anordnung der Farben.

Der Ring von 46° erklärt ſich durch die Annahme, daß die Axe der Prismen in der Weiſe ſchief ſteht, daß der rechte Winkel, welchen die Seitenflächen der Säule mit der Baſis bilden, der brechende Winkel des Prismas wird. Für ein Eisprisma, deſſen brechender Winkel 90° beträgt, iſt in der That das Minimum der Ablenkung 46°.

Den Nebenſonnenſtreifen erklärt man durch die Reflexion der Sonnenſtrahlen an den verticalen Flächen der Eisnadeln; er iſt da am hellſten, wo er den Ring von 23° durchſchneidet, weil hier zwei Urſachen ſtärkerer Erleuchtung zuſammenwirken.

311 **Irrlichter** nennt man gewöhnlich kleine Flämmchen, welche in ſumpfigen Gegenden, Mooren, Kirchhöfen u. ſ. w., kurz an Orten, wo Fäulniß und Verweſung vor ſich gehen, nicht hoch über dem Boden zum Vorſchein kommen, eine hüpfende unruhige Bewegung zeigen und bald wieder verſchwinden. Während man gewöhnlich von den Irrlichtern als von einer ganz bekannten und erklärten Erſcheinung redet, ſo herrſcht doch über dieſes Phänomen noch große Ungewißheit, indem nicht einmal das Thatſächliche ſelbſt genügend ermittelt iſt,

was einestheils daher rührt, daß die Irrlichter sehr selten sind, und daß die meisten Personen, welche solche sahen, nicht immer im Stande waren, genau zu beobachten und das Gesehene vorurtheilsfrei zu erzählen.

Volta meinte, die Irrlichter beständen aus Sumpfgas (Kohlenwasserstoffgas), welches durch einen elektrischen Funken entzündet würde. Aber woher soll der elektrische Funken kommen? Andere meinen, es sei Phosphorwasserstoffgas, welches sich entzündet, sobald es mit der atmosphärischen Luft in Berührung kommt; alsdann aber würde man einen momentanen, von einer Verpuffung begleiteten Lichtblitz und nicht ein länger anhaltendes mattes Licht beobachten. Die wahrscheinlichste Ansicht ist noch die, daß die Irrlichter durch ein phosphorhaltiges Wasserstoffgas erzeugt werden, welches nicht eigentlich als Flamme verbrennt, sondern nur schwach phosphorescirt.

Sternschnuppen, Feuerkugeln und Meteorsteine. Eine 312
allgemein bekannte Erscheinung, welche deshalb auch keiner weiteren Beschreibung bedarf, sind die Sternschnuppen. Durch correspondirende Beobachtungen hat man ermittelt, daß die Höhe der Sternschnuppen bis zu 35 Meilen beträgt, und daß sie sich mit einer Geschwindigkeit von 4 bis 8 Meilen in der Secunde bewegen.

Eine höchst merkwürdige Erscheinung sind die periodisch wiederkehrenden Sternschnuppenschwärme, welche man in der Zeit vom 12. bis 14. November und am 10. August (dem Feste des heiligen Laurentius) beobachtet; das letztere Phänomen wird schon in einem alten englischen Kirchenkalender, unter dem Namen der feurigen Thränen des heiligen Laurentius, als eine wiederkehrende Erscheinung erwähnt. Einer der bedeutendsten Sternschnuppenschwärme wurde den 12. bis 13. November 1833 in Nordamerika beobachtet, wo die Sternschnuppen fast wie Schneeflocken zusammengedrängt erschienen, so daß innerhalb 9 Stunden 240000 fielen.

Die Feuerkugeln scheinen mit den Sternschnuppen gleichen Ursprungs und gleicher Natur zu sein und sich nur durch die Größe der Erscheinung von ihnen zu unterscheiden. Bei den großen Sternschnuppenschwärmen sah man Feuerkugeln unter den Sternschnuppen.

Die Feuerkugeln zerplatzen unter großem Getöse und lassen dann Steinmassen herabfallen, welche unter dem Namen der Meteorsteine oder der Aërolythen bekannt sind. Auch bei Tage hat man solche Meteorsteine aus kleinen graulichen Wolken ebenfalls unter starkem Getöse herabfallen sehen.

Die frisch gefallenen Meteorsteine sind noch heiß und in Folge der Geschwindigkeit des Fallens mehr oder minder tief in den Boden eingedrungen.

Gegen Ende des vorigen Jahrhunderts war man sehr geneigt, das Herabfallen von Steinmassen aus der Luft für ein Mährchen zu erklären; seitdem aber haben sich Meteorsteinfälle ereignet, welche von mehreren Personen beobachtet und durch sachkundige Männer gehörig constatirt wurden. Dahin gehört besonders der Meteorsteinfall am 26. April 1803 bei Aigle im Departement de l'Orne, welchen Biot untersuchte, und der am 22. Mai 1808 zu

Stannern in Mähren. Am 13. November 1835 (alſo zur Zeit der Sternſchnuppenperiode) wurde im Departement Ain durch einen Aërolythen ein Haus angezündet.

Die Meteorſteine haben eine eigenthümliche Phyſiognomie, wodurch ſie ſich von allen irdiſchen Foſſilien unterſcheiden, dennoch aber ſind ſie unter einander wieder ſo verſchieden, daß Chladni, welcher ſich ſo viel mit dieſem Gegenſtande beſchäftigte, es für ſchwierig hielt, einen allgemeinen Charakter anzugeben; beſonders charakteriſtiſch iſt aber doch wohl der Gehalt an gediegenem Eiſen, und eine pechartig glänzende, zuweilen geäderte Rinde, welche faſt nie fehlt. Eine weitere Beſchreibung würde uns zu tief in mineralogiſche Details führen.

Man hat an verſchiedenen Orten Steinmaſſen auf dem Boden gefunden, welche dem Gebirgsſyſtem jener Gegenden ganz fremd ſind, aber mit notoriſchen Meteorſteinen die größte Aehnlichkeit haben, und iſt deshalb berechtigt, auch dieſe für Aërolythen zu halten.

Die Maſſe der Meteorſteine iſt oft ſehr groß; man hat deren gefunden, welche mehrere Pfunde bis 400 Centner wogen.

Es iſt kaum mehr zu bezweifeln, daß die Sternſchnuppen, Feuerkugeln und Meteorſteine kosmiſchen Urſprungs, daß ſie höchſt wahrſcheinlich Maſſen ſind, welche wie die Planeten um die Sonne kreiſen und, in die Anziehungsſphäre der Erde gerathend, herabfallen. Die Feuer- und Lichterſcheinung erklärt ſich am einfachſten durch die Annahme, daß dieſe kleinen Weltkörper mit einer Atmoſphäre brennbarer Gaſe umgeben ſind, welche ſich beim Eintritte in die ſauerſtoffhaltige Atmoſphäre der Erde entzündet. Wenn man annimmt, daß außer unzähligen, einzeln um die Sonne kreiſenden Maſſen der Art ganze Schwärme derſelben einen Ring um die Sonne bilden, daß die Ebene eines ſolchen Ringes an einer beſtimmten Stelle die Erdbahn ſchneidet, ſo erklären ſich dadurch die periodiſchen Sternſchnuppenfälle.

Fünftes Capitel.

Von der atmosphärischen Elektricität und dem Erdmagnetismus.

Entdeckung der atmosphärischen Elektricität. Otto 313
v. Guerike, der berühmte Erfinder der Luftpumpe, war der Erste, welcher eine elektrische Lichterscheinung beobachtete. Wall beobachtete ungefähr zu derselben Zeit einen lebhafteren Funken und ein stärkeres Geräusch, als er einen großen Harzcylinder rieb, und merkwürdiger Weise wurden die ersten durch Menschenhände hervorgebrachten elektrischen Funken auch sogleich mit dem Blitze verglichen. Dieser Funken und dieses Knacken, sagt Wall, scheinen gewissermaßen den Blitz und den Donner darzustellen. Die Analogie war überraschend; um aber ihre Wahrheit zu beweisen, um in einer so kleinen Erscheinung die Ursache und die Gesetze eines der großartigsten Phänomene der Natur zu erkennen, bedurfte es noch directer Beweise. Während man in Europa darüber hin und her redete, ob wohl der Blitz wirklich ein elektrisches Phänomen sei, wurde in Amerika der experimentelle Beweis geliefert. Nachdem Franklin mehrere elektrische Entdeckungen, besonders über die Leydener Flasche und das Vermögen der Spitzen gemacht hatte, kam er auf den glücklichen Gedanken, die Elektricität in den Gewitterwolken selbst aufzusuchen; er schloß nämlich, daß Metallspitzen, auf hohen Gebäuden aufgestellt, die Elektricität der Wolken auffangen müßten. Mit Ungeduld erwartete er die Vollendung eines Glockenthurmes, welcher damals in Philadelphia aufgeführt werden sollte; endlich aber müde zu warten, nahm er zu einem anderen Mittel seine Zuflucht, welches noch sicherere Resultate geben mußte. Da es ja nur darauf ankam, einen Körper hoch genug in die Luft zu erheben, so dachte Franklin, daß ein Drache, ein Spielwerk der Kinder, ihm eben so gut dienen könnte wie der höchste Thurm. Er benutzte das erste Gewitter, um den Versuch zu machen; nur von einer Person, seinem Sohne, begleitet, weil er fürchtete, sich lächerlich zu machen, wenn der Versuch mißglückte, begab er sich ins Freie und ließ den Drachen steigen. Eine Wolke, welche viel versprach, zog vorüber, ohne irgend eine Wirkung hervorgebracht zu haben; andere zogen vorüber, er bemerkte keinen Funken, kein Anzeichen von Elektricität; endlich fingen die Fasern der Schnur an sich aufzustellen, und es ließ sich ein

Geräusch hören. Dadurch ermuthigt, hielt Franklin den Finger gegen das Ende der Schnur, und siehe da, ein Funken sprang über, dem bald noch mehrere andere folgten.

Franklin hat seinen Versuch im Jahre 1752 angestellt, er wurde überall mit demselben Erfolge wiederholt. De Romas zu Nerac war, durch den ersten Gedanken Franklin's geleitet, ebenfalls auf die Idee gekommen, einen Drachen statt der hochgestellten Spitzen anzuwenden. Ohne von Franklin's Resultaten Kunde zu haben, erhielt er im Juni 1753 sehr kräftige Zeichen von Elektricität, weil er die glückliche Idee hatte, in der Schnur ihrer ganzen Länge nach einen feinen Metalldraht anzubringen. Im Jahre 1757 wiederholte de Romas seine Versuche und erhielt Funken von überraschender Größe. „Man denke sich," sagt er, „Feuerstreifen von 9 bis 10 Fuß Länge und 1 Zoll Dicke, von einem Krachen begleitet, welches eben so stark, ja stärker ist, als ein Pistolenschuß. In weniger als einer Stunde erhielt ich zum mindesten 30 solcher Funken, tausend andere nicht zu zählen, welche 7 und weniger Fuß lang waren."

Aller Vorsichtsmaßregeln ungeachtet, welche dieser geschickte Experimentator nahm, wurde er einmal durch die Heftigkeit des Schlages niedergeworfen.

Diese Versuche beweisen vollständig, daß der Blitz nur ein elektrischer Funken ist.

314 **Elektricität während der Gewitter.** Wenn man den elektrischen Zustand der Wolken untersucht, welche nach und nach über den Drachen hinziehen, so erkennt man, daß sie bald mit positiver oder negativer Elektricität geladen sind, bald sich aber auch im natürlichen Zustande befinden. Obgleich wir über die Vertheilung der Elektricität in den Wolken nichts wissen, so ist doch wohl die Anziehung und Abstoßung der ungleich oder gleich elektrisirten Wolken die Ursache der außergewöhnlichen Bewegungen, welche man während der Gewitter am Himmel beobachtet. Während dieser allgemeinen Bewegung der Atmosphäre sieht man Blitze den Himmel durchzucken und hört den Donner rollen. Diese beiden Erscheinungen wollen wir nun näher betrachten.

Manchmal sieht man den Blitz aus einer Wolke hervorbrechen und den Himmel weithin durchfurchen. Wenn man von hohen Bergen herab diese Erscheinung zu seinen Füßen beobachtet, so kann man ihre Ausdehnung besser schätzen; alle Beobachter stimmen darin überein, daß sie unter solchen Umständen Blitze gesehen haben, welche wenigstens eine Meile lang waren. Man weiß auch, daß aus derselben Wolke nach einander mehrere Blitze hervorsprühen. Endlich ist bekannt, daß die Blitze meistens einen Zickzack bilden; diese Form ist dem Blitze und dem elektrischen Funken gemein.

Die Dampfbläschen, welche die Wolken bilden, sind nicht so vollkommene Leiter als die Metalle, und ohne die Gesetze des Gleichgewichtes und der Vertheilung der Elektricität in unvollkommenen Leitern zu kennen, ist es doch klar, daß sie sich nicht auf einmal so vollständig entladen, daß sie nicht durch einen einzigen Funken in den natürlichen Zustand zurückgeführt werden können; somit erklärt es sich, daß aus einer Wolke mehrere Blitze hervorspringen können.

Die Länge des Blitzes scheint auch eine Folge der unvollkommenen Leitungsfähigkeit der Wolken und der Beweglichkeit der Theilchen zu sein, aus denen sie bestehen. Von dem Conductor der besten Elektrisirmaschine kann man durch trockene Luft hindurch Funken von 3 Fuß Länge erhalten; die Funken werden aber noch länger, wenn man sie über Stoffe von Wolle oder Seide schlagen läßt, welche mit etwas Staub bestreut sind; so müßte man auch durch einen Nebel hindurch längere Funken erhalten, wenn er nicht zu sehr die Spannung der Elektricität verminderte. Um die Länge des Blitzes zu erklären, muß man demnach wohl annehmen, daß auf dem Wege, welchen der Blitz nimmt, die Dampftheilchen schon durch Vertheilung elektrisirt sind, und daß endlich, wenn der Blitz erscheint, sich das gestörte Gleichgewicht von Schicht zu Schicht wieder herstellt, daß gewissermaßen nur Funken von Theilchen zu Theilchen überspringen, daß aber die elektrische Flüssigkeit nicht den ganzen Weg zwischen den weit entfernten Wolken durchläuft.

Der Donner entsteht durch die Vibrationen der gewaltsam erschütterten Luft. Man sieht das Licht gleichzeitig auf der ganzen Bahn des Blitzes, und auf der ganzen Strecke entsteht auch gleichzeitig der Knall; da sich aber der Schall langsamer verbreitet als das Licht, da er in einer Secunde nur 1000 Fuß zurücklegt, so sieht man den Blitz eher als man den Donner hört; ein Beobachter, welcher sich nahe an dem einen Ende der Bahn des Blitzes befindet, wird den in allen Punkten gleichzeitig entstehenden Ton nicht gleichzeitig hören. Nehmen wir an, der Blitz sei 10000 Fuß lang und der Beobachter befinde sich in der Verlängerung seiner Bahn, so wird der Schall von dem entfernteren Ende des Blitzes um 10 Secunden später ankommen, als von dem zunächst gelegenen Ende. Da demnach der Schall von den verschiedenen Stellen des Blitzes nur nach und nach zum Ohre des Beobachters gelangt, so hört er also nicht einen momentanen Knall, sondern ein, je nach der Länge des Blitzes und seiner Stellung gegen die Bahn desselben, länger oder kürzer dauerndes Rollen des Donners, welches wohl noch durch ein Echo in den Wolken verstärkt wird.

Nicht allein bei Gewitterwolken, sondern auch bei heiterem Himmel kann man mit Hülfe guter Elektroskope die Existenz einer elektrischen Spannung in der Atmosphäre nachweisen.

Ueber den Ursprung der atmosphärischen Elektricität wissen wir so gut wie nichts, obgleich über diesen Gegenstand schon gewaltig viel geschrieben worden ist. Einige meinen, daß die Elektricität der Gewitterwolken durch eine rasche Condensation des atmosphärischen Wasserdampfes entstehe, daß also die Elektricität eine Folge der schnellen Bildung dichter Wolken sei.

Wirkungen des Blitzes auf der Erde. Denken wir uns, daß 315
eine etwa positiv elektrische Gewitterwolke hoch über dem Meere oder über einem großen See schwebe, so wird sie vertheilend wirken, die positive Elektricität im Wasser wird zurückgestoßen, die negative aber an der Oberfläche des Wassers angehäuft; diese Anhäufung kann so bedeutend sein, daß sie eine merkliche Er-

hebung des Wassers bewirkt, es wird sich eine große Woge, ein Wasserberg bilden können, welcher so lange bleibt, als dieser elektrische Zustand dauert, der auf dreierlei Weise endigen kann. 1) Wenn sich die Elektricität der Wolke allmälig verliert, ohne daß ein Entladungsschlag erfolgt, so wird sich auch der natürlich elektrische Zustand des Wassers allmälig wieder herstellen. 2) Wenn ein Blitz zwischen der Gewitterwolke und einer anderen, oder zwischen der Wolke und einem entfernteren Orte der Erde überschlägt, wenn also die Wolke plötzlich entladen wird, so muß die an der Oberfläche des Wasserberges angehäufte Elektricität auch rasch wieder ab-, die bisher abgestoßene rasch wieder zuströmen, es findet eine plötzliche Ausgleichung, ein Rückschlag Statt. 3) Wenn die Gewitterwolke sich nahe genug befindet und wenn sie stark genug mit Elektricität geladen ist, so schlägt der Blitz über. Dieser directe Schlag bringt in der Regel eine bedeutendere Bewegung, ein stärkeres Aufwallen des Wassers hervor als der Rückschlag. Ein solcher Schlag findet nicht ohne mächtige mechanische Wirkung auf die ponderabelen Elemente Statt.

Betrachten wir nun die Wirkungen der Gewitterwolken auf dem Lande.

Eine allmälige Zerlegung und Wiedervereinigung der Elektricität bringt keine sichtbaren Wirkungen hervor; es scheint jedoch, daß solche Störungen des elektrischen Gleichgewichtes durch organische Wesen und namentlich durch nervenkranke Personen empfunden werden können.

Der Rückschlag ist stets weniger heftig als der directe; es giebt kein Beispiel, daß er eine Entzündung veranlaßt habe, dagegen fehlt es nicht an Beispielen, daß Menschen und Thiere durch den Rückschlag getödtet worden sind; man findet an ihnen in diesem Falle durchaus keine gebrochenen Glieder, keine Wunden und keine Brandspuren.

Die furchtbarsten Wirkungen bringt der directe Schlag hervor. Wenn der Blitz einschlägt, so bezeichnet er die Stelle, wo er den Boden trifft, durch ein oder mehrere, bald mehr, bald minder tiefe Löcher.

Alles, was sich über die Ebene erhebt, ist vorzugsweise dem Blitzschlage ausgesetzt; daher kommt es, daß so oft Thiere mitten in der Ebene erschlagen werden; unter sonst gleichen Umständen ist man jedoch auf einem nichtleitenden Boden sicherer als auf einem gutleitenden.

Bäume sind schon durch die Säfte, welche in ihnen circuliren, gute Leiter; wenn eine Gewitterwolke über ihnen hinzieht, so findet in den Bäumen eine starke Anhäufung von Elektricität Statt, und deshalb sagt man mit Recht, daß Bäume den Blitz anziehen; man darf deshalb während eines Gewitters unter Bäumen, namentlich unter einsam stehenden Bäumen, ja selbst unter einsam in der Ebene stehenden Sträuchen keinen Schutz suchen. Warnende Beispiele bietet unter anderen ein Gewitter, welches am 10 Juli. 1855 zwischen 7 und 9 Uhr Morgens die ganze badische Rheinebene und einen Theil des Schwarzwaldes überzog. Während desselben erschlug der Blitz bei Thunsel oberhalb Freiburg einen Ackerknecht sammt seinen beiden Pferden auf dem Heimwege; im Amte Durlach suchten vier Personen unter einem 40 Fuß hohen Birnbaum Schutz vor dem Regen; ein Blitzschlag, welcher den Baum traf, tödtete zwei

derselben, während die beiden anderen gelähmt wurden. In der Nähe von Bruchsal endlich schlug der Blitz in eine Torfhütte, in welche sich mehrere Torfgräber geflüchtet hatten, und tödtete zwei derselben.

Gebäude sind in der Regel aus Metall, Steinen und Holz zusammengesetzt. Wegen der ungleichen Leitungsfähigkeit dieser Substanzen ist auch die Wirkung der Gewitterwolken auf dieselben sehr verschieden. Wenn der Blitz einschlägt, so trifft er vorzugsweise die besseren Leiter, mögen sie nun frei oder durch schlechtere Leiter eingehüllt sein; die vertheilende Kraft der atmosphärischen Elektricität wirkt auf den in die Wand eingeschlagenen Nagel eben so gut, wie auf die frei in die Luft ragende Windfahne.

Die mechanischen Wirkungen des Blitzes sind in der Regel sehr heftig. Wenn der Blitz in ein Zimmer einschlägt, so werden die Möbeln umgestürzt und zertrümmert, Metallstücke werden aus der Wand gerissen und fortgeschleudert. Bäume werden vom Blitz gespalten und zersplittert, gewöhnlich aber kann man vom Gipfel bis zum Boden eine mehrere Centimeter breite und tiefe Furche verfolgen, die abgeschälte Rinde und die ausgerissenen Späne findet man weit weggeschleudert, und am Fuße des Baumes sieht man oft ein Loch, durch welches das elektrische Fluidum sich in den Boden verbreitete.

Die physikalischen Wirkungen des Blitzes beweisen eine mehr oder minder bedeutende Temperaturerhöhung. Wenn der Blitz ein Strohdach, trockenes Holz, ja grüne Bäume trifft, so findet eine Verkohlung, meistens sogar eine Entzündung Statt; bei Bäumen findet man jedoch seltener Spuren von Verkohlung. Metalle werden durch den Blitz stark erhitzt, geschmolzen oder verflüchtigt. Wiederholte Blitzschläge bringen auf hohen Bergen sichtbare Spuren von Schmelzung an den Felsen hervor.

Die Blitzableiter bestehen aus einer zugespitzten Metallstange, welche 316
in die Luft hineinragt, und einem guten Leiter, welcher die Stange mit dem Boden verbindet. Folgende Bedingungen müssen erfüllt sein, wenn sie ihrem Zweck entsprechen sollen:

1) Die Stange muß in eine sehr feine Spitze zulaufen;

2) die Verbindung mit dem Boden muß vollkommen leitend sein, von der Spitze bis zum unteren Ende der Leitung darf keine Unterbrechung stattfinden;

3) alle Theile des Apparates müssen die gehörigen Dimensionen haben.

Wenn eine Gewitterwolke über dem Blitzableiter schwebt, so werden die verbundenen Elektricitäten des Stabes und der Leitung zerlegt, diejenige Elektricität wird abgestoßen, welche mit der der Wolke gleichnamig ist, und sie kann sich frei im Boden verbreiten; die entgegengesetzte Elektricität aber wird nach der Spitze gezogen, wo sie frei in die Luft ausströmen kann. Auf diese Weise ist keine Anhäufung von Elektricität im Blitzableiter möglich. Während so der Blitzableiter in Thätigkeit ist, während ihn die entgegengesetzten Elektricitäten in entgegengesetzter Richtung durchströmen, kann man sich ihm ohne Gefahr

nähern, man kann ihn ohne Gefahr berühren; denn wo keine elektrische Spannung vorhanden ist, ist auch kein Schlag zu befürchten.

Nehmen wir nun an, eine der drei zuerst genannten Bedingungen sei nicht erfüllt, die Spitze sei stumpf, die Leitung zum Boden sei unvollkommen oder unterbrochen, so ist klar, daß eine Anhäufung von Elektricität im Blitzableiter nicht allein möglich, sondern auch, daß sie unvermeidlich ist; er bildet dann einen geladenen Conductor, in welchem eine ungeheure Menge von Elektricität angehäuft sein kann, man kann bald schwächere, bald stärkere Funken aus ihm ziehen.

Wenn nur die Spitze stumpf ist, so kann der Blitz einschlagen, allein er wird der Leitung folgen, ohne das Gebäude zu zerstören.

Wenn die Leitung unterbrochen oder die Verbindung mit dem Boden unvollkommen ist, so kann der Blitz ebenfalls einschlagen, er wird sich aber auch seitwärts auf andere Leiter verbreiten und eben solche Zerstörungen anrichten, als ob gar kein Blitzableiter vorhanden wäre.

Noch mehr: ein Blitzableiter, welcher diesen Fehler hat, ist sehr gefährlich, selbst wenn der Blitz nicht einschlägt; denn wenn an irgend einer Stelle der Leitung die Elektricität hinlänglich angehäuft ist, so kann ein Funken seitwärts überschlagen, welcher irgend Gegenstände zertrümmern oder entzünden kann. Man kann dafür ein trauriges Beispiel anführen. Richmann, Professor der Physik in Petersburg, wurde von einem Funken plötzlich getödtet, welcher dem Blitzableiter entfuhr, der in sein Haus heruntergeleitet war und dessen Leitung er unterbrochen hatte, um die Elektricität der Wolken zu untersuchen. Sokolow, Kupferstecher der Akademie, sah, wie der Funken Richmann auf die Stirn traf.

Fig. 562.

1/3

Fig. 562 stellt die Spitze eines Blitzableiters dar, wie sie nach Gay-Lussac's Vorschrift in Frankreich meistens ausgeführt worden. Auf einer ungefähr 20 bis 24 Fuß hohen Eisenstange ist ein 2 Fuß langer, etwas conischer Messingstab aufgeschraubt, in welchen oben mittelst Silber eine ungefähr $1\frac{1}{2}$ Zoll lange Platinnadel eingelöthet ist.

In Deutschland ist die eiserne Stange selbst zugespitzt, die Spitze ist aber vergoldet, damit sie nicht durch Oxydation abgestumpft werde.

Die oben zugespitzte Saugstange des Blitzableiters muß über der höchsten Stelle des zu schützenden Gebäudes aufgerichtet werden. Mit dem Boden wird sie durch eiserne Stangen oder durch hinlänglich dicken Kupferdraht (am zweckmäßigsten ist es, zwei oder drei 1 Linie dicke Kupferdrähte zu einem Drahtseile zu vereinigen) in leitende Verbindung gesetzt.

Es ist wesentlich, daß diese Ableitung möglichst vollständig sei. Wenn irgend ein Brunnen in der Nähe ist, so wird die metallische Leitung bis in das Wasser desselben geführt; wenn aber

kein Wasser in der Nähe ist, so sollte die Leitstange wenigstens durch einen langen, mit Kohlenpulver gefüllten Canal zu einer möglichst feuchten Stelle des Bodens geführt werden.

Wie sehr der Blitzschlag guten Leitungen folgt, hatte man z. B. bei einem heftigen Gewitter am 9. Juni 1849 zu Basel zu beobachten Gelegenheit. Der Blitz schlug in den Blitzableiter eines Wohnhauses, verfolgte die Leitung desselben bis in den Boden, sprang aber alsdann auf eine nahe liegende gußeiserne Brunnenleitung über; auf mehr als $^1/_4$ Stunde Wegs wurden alle gußeisernen Röhrenstücke, da wo sie in einander gesteckt und mit Pech gedichtet waren, zerschmettert, so daß alle durch diese Leitung gespeisten Brunnen zu laufen aufhörten.

Die Elektricität, welche in reichlichem Maße durch die Spitze ausströmt, wird durch die Gewitterwolke angezogen, und neutralisirt, daselbst angekommen, einen Theil der ursprünglichen Elektricität dieser Wolke. Wenn also eine Gewitterwolke dem Blitzableiter nahe genug ist, um vertheilend wirken zu können, so wird auch sogleich ihre elektrische Kraft durch das Zuströmen der entgegengesetzten Elektricität aus der Spitze geschwächt. Je mehr sich die Wolke nähert, desto stärker wirkt ihre vertheilende Kraft, desto mehr wird sie aber auch durch das Zuströmen der entgegengesetzten Elektricität neutralisirt.

Es versteht sich von selbst, daß die Spitze des Blitzableiters, wenn derselbe wirksam sein soll, nicht von benachbarten Leitern überragt werden darf. Ferner müssen alle bedeutenden Metallmassen der zu schützenden Gebäude mit dem Blitzableiter in leitende Verbindung gebracht werden.

Die Erfahrung zeigt, daß ein mit allen Vorsichtsmaßregeln angelegter Blitzableiter von den angegebenen Dimensionen einen Umkreis von ungefähr 80 Fuß Radius schützt.

Da es also von der größten Wichtigkeit ist, daß die metallische Leitung von der Spitze des Ableiters bis zum Boden ununterbrochen sei, so ist es wünschenswerth, sich davon überzeugen zu können, daß die Leitung nicht unterbrochen sei. In neuerer Zeit hat man dazu den galvanischen Strom angewandt. Führt man nämlich von dem einen Pole einer galvanischen Kette einen Kupferdraht zum oberen, vom anderen Pole einen solchen zum unteren Ende des Blitzableiters, so ist derselbe in den Schließungsbogen der Kette eingeschaltet. Ein an passender Stelle in diesen Schließungsbogen eingeschaltetes Galvanometer muß unter diesen Umständen den Strom anzeigen, wenn die Leitung nicht unterbrochen ist.

Die magnetischen Curven. Nach dem, was bereits im Paragraph 174 besprochen wurde, verhält sich die ganze Erdkugel wie ein großer Magnet. An jedem einzelnen Orte der Erdoberfläche ist die magnetische Wirkung des Erdmagnetismus durch die Declination, die Inclination und die magnetische Intensität charakterisirt. Nachdem nun diese Größen für viele möglichst weit von einander entfernte Orte bestimmt worden sind, erhält man ein Bild von der Vertheilung des Magnetismus auf der Erde, wenn man nach Art der Isothermen magnetische Curven auf Erdkarten oder auf Erdgloben aufträgt. 317

Man unterſcheidet dreierlei Arten magnetiſcher Curven, nämlich:

1) die iſogoniſchen Linien, Linien gleicher magnetiſcher Declination,

2) die iſocliniſchen Linien, Linien gleicher magnetiſcher Inclination und

3) die iſodynamiſchen Linien, Linien gleicher magnetiſcher Intenſität.

Die Fig. 563 iſt eine Declinationskarte, d. h. ſie ſtellt den Verlauf

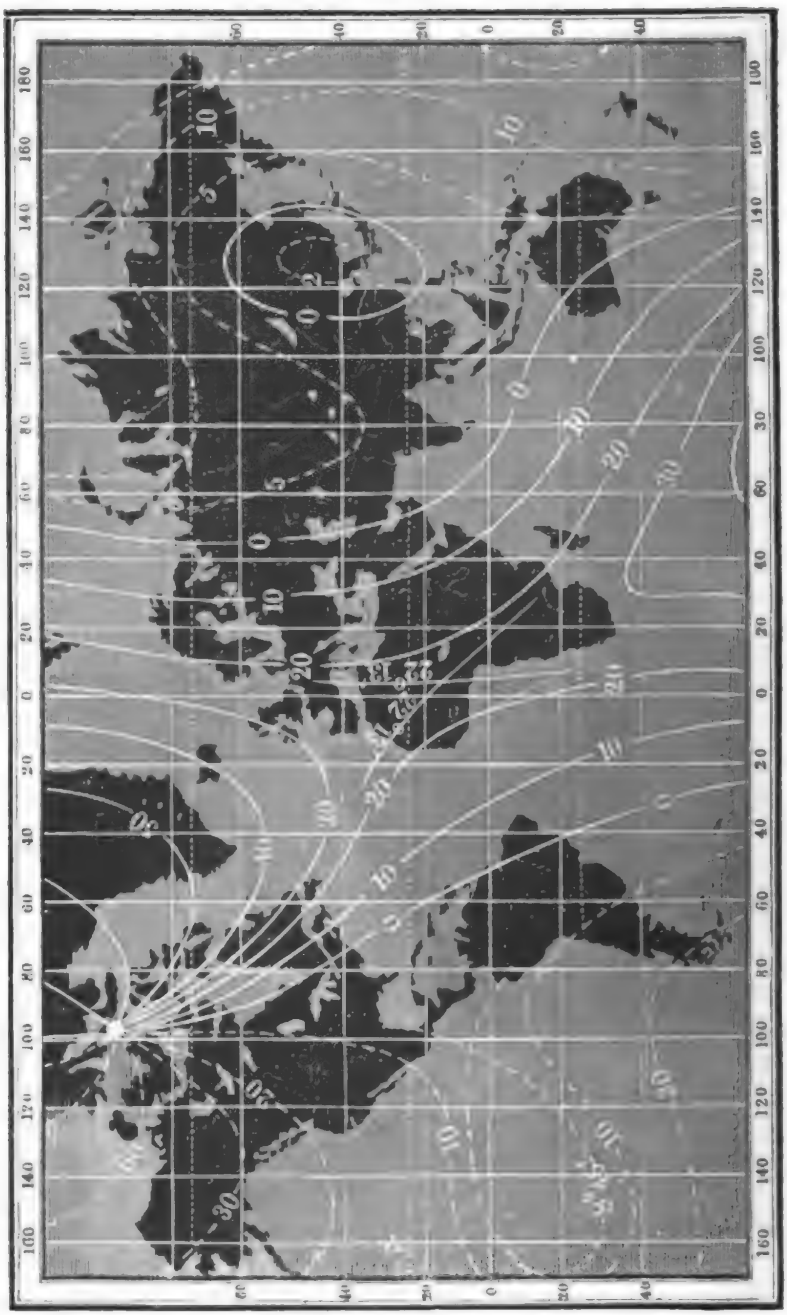


Fig. 563.

der iſogoniſchen Linien dar und zwar zwiſchen dem 80. Grade nördlicher und dem 60. Grade ſüdlicher Breite. Die ausgezogenen Curven entſprechen weſtlicher, die punktirten aber öſtlicher Declination. Auf den mit 0 bezeichneten Curven zeigt die horizontale Magnetnadel genau nach Norden.

Fig. 564, 565 und 566 ſtellen den Verlauf der iſocliniſchen Linien dar, und zwar ſtellt Fig. 565 die Umgebungen des Nordpols, Fig. 566 die

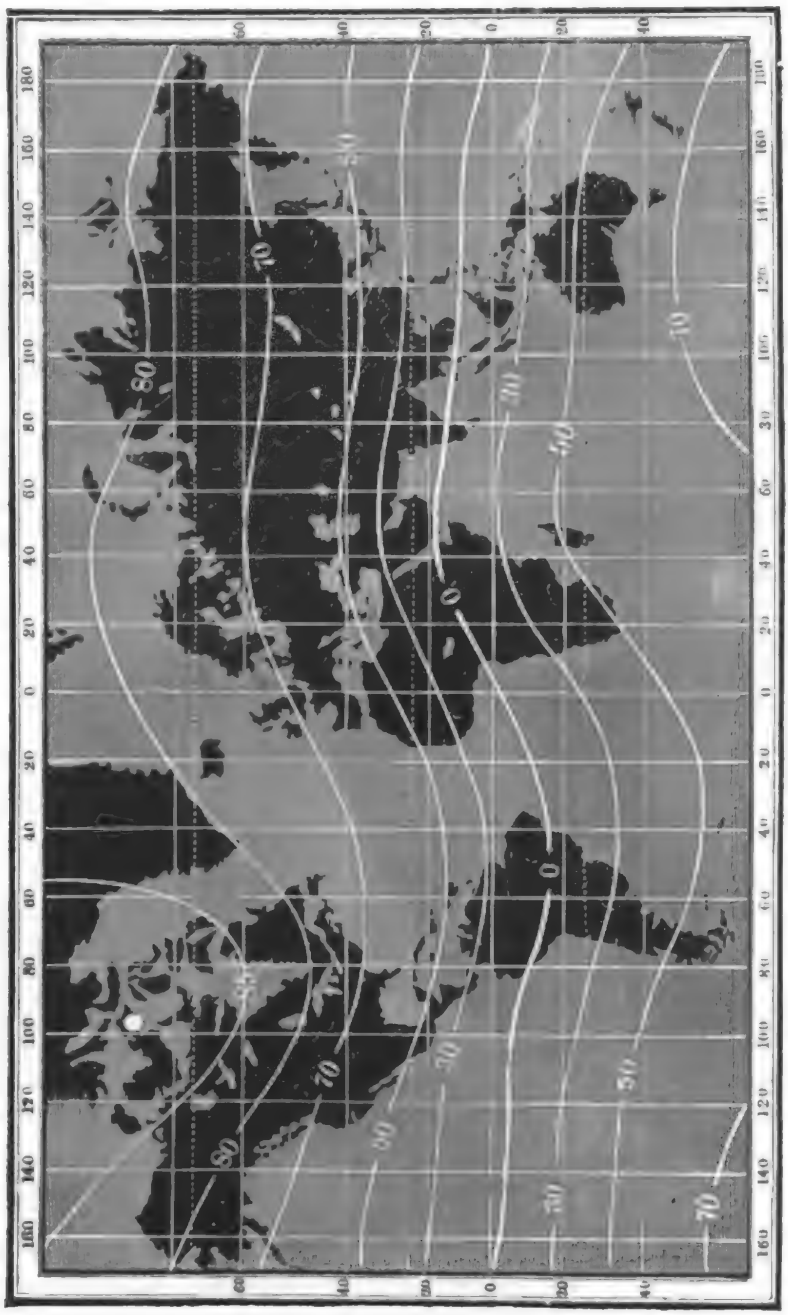


Fig. 564.

Fig. 565.

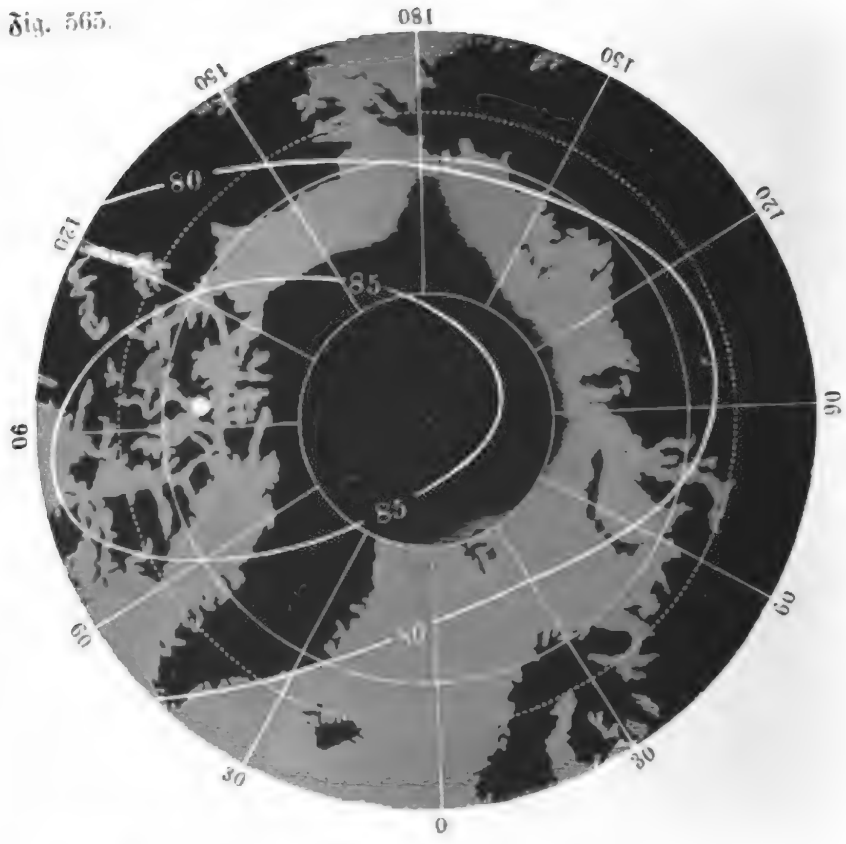
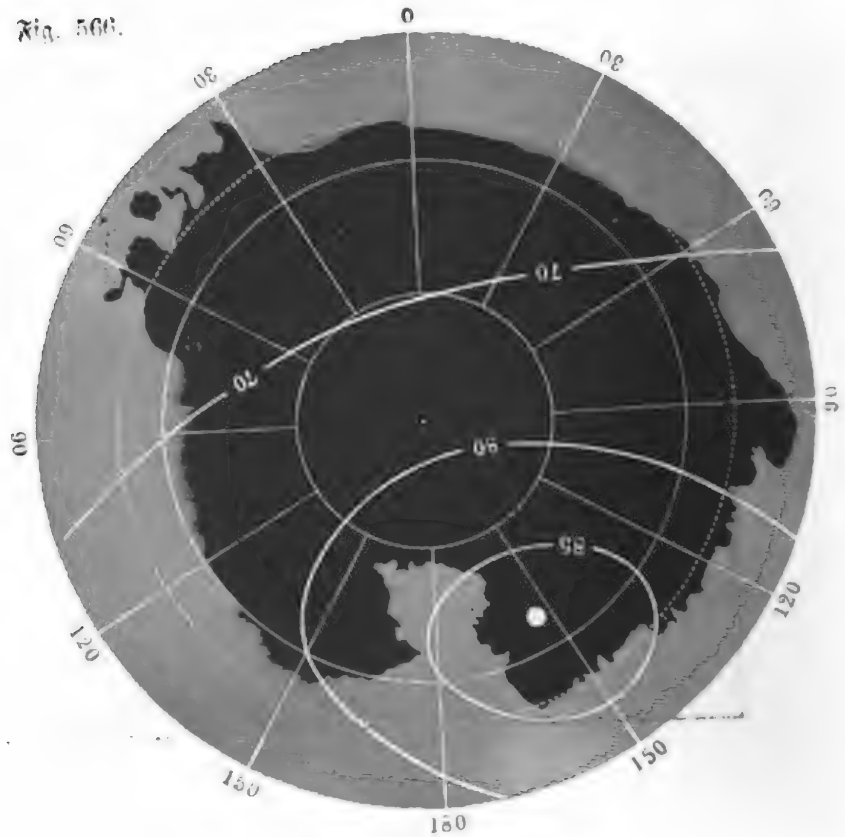


Fig. 566.



Umgebungen des Südpols der Erde dar, bis zu welchen sich eine Karte in Aequatorialprojection, wie Fig. 564, nicht erstrecken kann.

Der mit 0 bezeichnete magnetische Aequator in Fig. 564 ist etwas stärker gezogen und dadurch vor den übrigen isocliniſchen Curven ausgezeichnet. Nördlich von demselben senkt sich das Nordende, südlich das Südende der Inclinationsnadel.

Die magnetischen Pole der Erde sind diejenigen Punkte, für welche sich die Inclinationsnadel senkrecht stellt. Der magnetische Nordpol, welchen Capitain Roß auf der Insel Melville wirklich erreichte, findet sich auf den Karten Fig. 563, Fig. 564 und Fig. 565. Der magnetische Südpol, dessen Lage nur aus dem Verlauf der magnetischen Curven auf der Südhälfte der Erde erschlossen werden konnte, findet sich auf der Karte Fig. 566.

Wäre der Erdmagnetismus regelmäßig vertheilt, so müßte der magnetische Aequator einen größten Kreis bilden, ähnlich wie die Ekliptik am Himmelsgewölbe. Aus Fig. 564 erkennt man den unregelmäßigen Verlauf des magnetischen Aequators und aus den Figuren 565 und 566 ergiebt sich, daß die magnetischen Pole der Erde keineswegs diametral einander gegenüberstehen.

Nachdem, was bereits im Paragraph 175 über die secularen Variationen des Erdmagnetismus gesagt wurde, ist klar, daß der Verlauf der magnetischen Curven sich allmälig ändern müsse, und in der That zeigen die magnetischen Karten vom Anfang des vorigen Jahrhunderts ein ganz anderes Bild als die obigen Karten, welche für das Jahr 1835 construirt sind, also auch schon nicht mehr ganz den gegenwärtigen Zustand darstellen. Aus der allmäligen Veränderung in der Lage der magnetischen Curven ergiebt sich auch, daß die magnetischen Pole der Erde nach und nach ihre Stelle ändern müssen.

Das Nordlicht. Wir haben bereits in Paragraph 175 gesehen, daß 318
unter den Ursachen, welche unregelmäßige Schwankungen, Störungen der Magnetnadel bewirken, das Nordlicht eine wesentliche Stelle einnimmt. In unseren Gegenden ist das Nordlicht eine ziemlich seltene Erscheinung; in höheren Breiten aber, in den nördlichen Theilen von Europa, Asien und Amerika, sind die Nordlichter nicht allein weit häufiger, sondern auch weit prächtiger.

Fig. 567 (a. f. S.) stellt das Nordlicht dar, wie es bei uns gewöhnlich wahrgenommen wird, wenn es seine volle Ausbildung erreicht; ein aus lichten Streifen gebildeter Bogen, dessen Ränder verwaschen erscheinen und dessen Enden auf dem Horizont aufzustehen scheinen.

Der Gipfel dieses Bogens steht immer nahe in der Richtung des magnetischen Meridians.

In seinem Glanze zeigt der Bogen eine undulatorische Bewegung, d. h. der Glanz der Strahlen wächst der Reihe nach von einem Fuß zum anderen und zwar meist in der Richtung von West nach Ost.

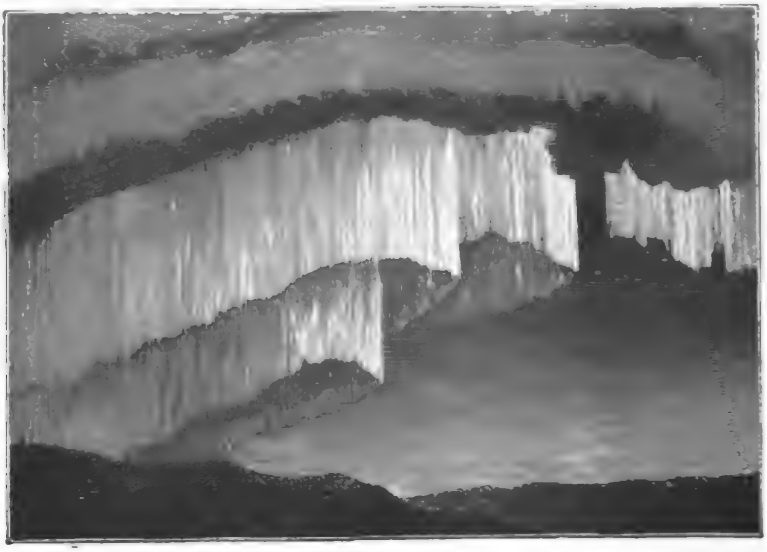
In höheren Breiten steigen die Nordlichter schon hoch über den Horizont herauf, ja sie erreichen das Zenith und gehen selbst über dasselbe hinaus.

Manchmal verläßt dann einer der Füße, oder auch beide, den Horizont, und es bildet ſich dann die ſogenannte Krone. Im hohen Norden erſcheint der Lichtbogen

Fig. 567.

oft als ein langes Strahlenband, Fig. 568, welches ſich windet und biegt wie eine Schlange oder eine vom Winde bewegte Fahne; die Strahlen, welche nun eine große Lichtſtärke erlangt haben, färben ſich an der Baſis roth, in der Mitte grün, während der übrige Theil ein blaßgelbes Licht behält.

Fig. 568.



Die Krone verschwindet in der Regel schon nach einigen Minuten.

Nicht immer bildet sich das Nordlicht vollständig, sondern oft nur theilweise aus, indem bald die Krone, bald die Bogen unvollständig sind und die Regelmäßigkeit der Erscheinung in mannigfacher Weise durch Wolken gestört wird. Oft bemerkt man gegen Norden hin die Spuren eines Nordlichts als einen ungewöhnlichen verschwommenen Lichtschimmer.

Aehnliche Erscheinungen sind von den Seefahrern auch in den Polargegenden der südlichen Hemisphäre beobachtet worden; man kann sie Südlichter nennen und das Phänomen der beiden Hemisphären unter dem Namen des Polarlichtes zusammenfassen.

Der Umstand, daß die Nordlichter stets in der Richtung des magnetischen Meridians gesehen werden, daß bei ihrem Erscheinen die Declinationsnadel in ungewöhnlich starkes Schwanken geräth, deutet darauf hin, daß das Nordlicht mit dem Erdmagnetismus und den um die Erde kreisenden elektrischen Strömen in Beziehung steht; weshalb sie denn auch Humboldt sehr treffend als magnetische Gewitter bezeichnete. Bis jetzt ist es aber noch nicht gelungen, eine genügende Theorie zur Erklärung des Nordlichts aufzustellen.

Anhang.

Verhältniß des neueren französischen Maaßsystems zu anderen Maaßsystemen.

In diesem Werke sind fast durchgängig alle Maaßangaben in dem neufranzösischen Systeme ausgedrückt, theils weil nach demselben eine so außerordentlich einfache Beziehung zwischen Maaß und Gewicht besteht, welche man bei anderen Maaßsystemen nicht findet, eine Einfachheit, welche manche den Gang der physikalischen Betrachtung sonst sehr störenden Rechnungsoperationen unnöthig macht; theils aber auch, weil bei naturwissenschaftlichen Untersuchungen das metrische Maaß- und Gewichtssystem fast allgemein angenommen ist, so daß sich fast alle Physiker und Chemiker desselben bedienen, und es gewiß nicht wohl räthlich ist, die nach dem metrischen Systeme gemachten Messungen und Wägungen auf andere Maaße zu reduciren.

Nun aber sind doch Manche mit dem metrischen Systeme nicht genug bekannt, um in den nach demselben gemachten Maaßangaben sich leicht zurechtzufinden. Um eine solche Orientirung zu erleichtern, soll die folgende Vergleichung der neufranzösischen Maaße und Gewichte mit anderen dienen.

Die wichtigsten Notizen über das Metermaß sind schon früher gegeben worden. Es wurde dort bereits mitgetheilt, auf welche Weise die Länge des Meters ermittelt wurde, und daß

$$1^{\text{Meter}} = 10^{\text{Decimeter}} = 100^{\text{Centimeter}} = 1000^{\text{Millimeter}}.$$

Die folgende Tabelle dient zur leichten Reduction von Längenangaben nach metrischem Systeme in altfranzösisches und rheinländisches Maaß.

Tabelle zur Verwandlung des Metermaaßes in rheinländisches und altfranzösisches Maaß.

Metermaaß.	Rheinländisches oder preußisches Maaß.	Altfranzösisches Maaß.
1mm	0,459‴	0,443‴
2	0,918	0,887
3	1,376	1,330
4	1,835	1,773
5	2,294	2,216
6	2,753	2,660
7	3,212	3,103
8	3,671	3,546
9	4,129	3,990
1cm	4,588‴	4,433‴
2	9,176	8,866
3	1″ 1,764	1″ 1,299
4	1 6,353	1 5,732
5	1 10,941	1 10,165
6	2 3,529	2 2,604
7	2 8,117	2 7,031
8	3 0,705	2 11,462
9	3 5,294	3 3,897
1dm	3″ 9,882‴	3″ 8,330‴
2	7 7,763	7 4,659
3	11 5,645	11 0,989
4	1′ 3 3,527	1′ 2 9,318
5	1 7 1,408	1 6 5,648
6	1 10 11,290	1 10 2,038
7	2 2 9,172	2 1 10,307
8	2 6 7,054	2 5 6,637
9	2 10 4,935	2 9 2,966
1m	3′ 2″ 2,817‴	3′ 0″ 11,296‴
2	6 4 5,634	6 1 10,592
3	9 6 8,451	9 2 9,888
4	12 8 11,268	12 3 9,184
5	15 11 2,085	15 4 8,480
6	19 1 4,902	18 5 7,776
7	22 3 7,719	21 6 7,072
8	25 5 10,536	24 7 6,368
9	28 8 1,353	27 8 5,664
10	31 10 4,170	30 9 4,950

Aus den Verhältnissen der Längenmaaße ergeben sich die Verhältnisse der entsprechenden Flächen- und Körpermaaße.

	Neufranz.		Rheinl.	Altfranz.
1	Quadratmeter .	10,05187	Quadratfuß	9,476817 Quadratfuß
1	Quadratdecimeter	14,619	Quadratzoll	13,947 Quadratzoll
1	Quadratcentimeter	21,051	Quadratlinien	18,650 Quadratlinien
1	Kubikmeter . .	32,34587	Kubikfuß	29,17385 Kubikfuß
1	Kubikdecimeter .	55,894	Kubikzoll	50,412 Kubikzoll
1	Kubikcentimeter	96,584	Kubiklinien	87,112 Kubiklinien.

Das Hohlmaaß sowohl wie das Gewicht ist bei dem neufranzösischen Maaßsystem unmittelbar vom Körpermaaße abgeleitet, was bei den älteren Maaßsystemen nicht der Fall ist; und darin liegt ganz besonders ein großer Vorzug des metrischen Systems, welchen jedoch auch einige andere neuere Maaß- und Gewichtssysteme bieten, welche, wie das badische und darmstädtische, auf das Metersystem basirt sind.

Die Einheit des französischen Hohlmaaßes ist der Raum, welchen 1 Cubikdecimeter ausfüllt und welcher den Namen Litre führt.

1 Litre = 0,873386 preuß. Quart.

Ebenso ist, wie schon früher bemerkt wurde, die Einheit des Gewichtes beim metrischen Maaßsysteme von dem Längenmaaße abgeleitet. 1 Gramm ist das Gewicht eines Cubikcentimeters Wasser.

Da nun 1 Cubikdecimeter = 1000 Cubikcentimeter, so ist klar, daß 1 Litre Wasser 1000 Gramm oder, was dasselbe ist, 1 Kilogramm wiegt.

Die Unterabtheilungen des Grammes sind:

das Decigramm = $^1/_{10}$ gr.
das Centigramm = $^1/_{100}$ gr.
das Milligramm = $^1/_{1000}$ gr.

In Baden, dem Großherzogthum Hessen und der Schweiz ist schon seit längerer Zeit das metrische Pfund ($^1/_2$ Kilogramm oder 500 Gramm) als Landesgewicht angenommen. In neuerer Zeit ist diese Gewichtseinheit auch in Preußen, Hannover, Braunschweig, Oldenburg, Schaumburg-Lippe, Hamburg und Bremen eingeführt worden.

100 metrische Pfund machen 1 Centner.

Die Pfunde anderer Länder weichen bald mehr bald weniger von diesen metrischen Pfunden ab.

So ist z. B. das bayrische Pfund	. . . . .	560	Gramm
englische Handelspfund	. . . . .	453	„
östreichische Handelspfund	. . . . .	560,012	„
altpreußische Handelspfund	. . . . .	467,711	„

Das Pfund ist meistens auf gleiche Weise eingetheilt; es ist nämlich:

1 Pfund = 32 Loth,
1 Loth = 4 Quentchen,
1 Quentchen = 60 Gran;

1 Handelspfund hat also 7680 Gran.

In den oben genannten norddeutschen Staaten ist das metrische Pfund eingetheilt in:

10 Neuloth, das Neuloth = 50 Gramm
1 Neuloth in 10 Quint, 1 Quint = 5 Gramm
1 Quint = 10 Halbgramm.

Das Medicinalpfund ist durchschnittlich kleiner als das Handelspfund; das östreichische und preußische Medicinalpfund ist gerade $^3/_4$ des entsprechenden Handelspfundes. Die Unterabtheilungen des Medicinalpfundes sind:

Pfund.	Unze.	Drachme.	Scrupel.	Gran.
1	12 (1 Unze = 2 Loth)	96	288	5760
	1	8	24	480
		1	3	60
			1	20

Zur leichteren Reduction des Grammgewichtes auf das alte preußische (kölnische) Gewicht dient folgende Tabelle:

1 Gramm				16,422 Gran
2			1 Scrupel	12,844
3			2	9,266
4		1 Drachme	0	5,688
5		1	1	2,110
6		1	1	18,532
7		1	2	14,954
8		2	0	11,376
9		2	1	7,798
10		2	2	4,22
100	3 Unzen	3	1	2,2
1000	2 Pf. 2 „	2	0	2

Tabelle

der

specifischen Gewichte einiger festen Körper bei 0 Grad.

Platin	gemünzt	22, 00
	gewalzt	22,069
	geschmolzen	20,857
Gold	gemünzt	19,325
	geschmolzen	19,253
Iridium		18,600
Wolfram		17,600
Blei, geschmolzen		11,352
Palladium		11,300
Silber		10,474
Wismuth		9,822
Kupfer	gehämmert	8,878
	gegossen	7,788
	zu Draht gezogen	8,780
Kadmium		8,694
Molybdän		8,611
Messing		8,395
Arsenik		8,308
Nickel		8,279
Uran		8,100
Stahl		7,816
Kobalt		7,812
Eisen	geschmiedet	7,788
	gegossen	7,207
Zinn		7,291
Antimon		6,712
Tellur		6,115
Chrom		5,900
Jod		4,948
Schwerspath		4,426
Selen		4,320
Diamant		3,520
Flintglas		3,78 bis 3,20
Flußspath		3,15
Aluminium		2,67
Bouteillenglas		2,600
Spiegelglas		2,370
Turmalin (grün)		3,155
Marmor		2,837
Smaragd		2,775
Bergkrystall		2,683
Porzellan		2,49 bis 2,14
Gyps (krystallisirt)		2,311
Schwefel (natürlich)		2,033
Elfenbein		1,917
Alabaster		1,874
Anthracit		1,800
Phosphor		1,770
Bernstein		1,078
Ebenholz		1,226
Eichenholz (alt)		1,170
Burbaum		1,330
Mahagonyholz		1,060
Wachs, weißes		0,969
Eis		0,950
Natrium		0,972
Kalium		0,865
Lithium		0,590
Ahornholz	frisch	0,904
	trocken	0,659
Buchenholz	frisch	0,982
	trocken	0,590
Edeltanne	frisch	0,890
	trocken	0,450
Erlenholz	frisch	0,857
	trocken	0,500
Eschenholz	frisch	0,904
	trocken	0,644
Hainbuchenholz	frisch	0,945
	trocken	0,769
Lindenholz	frisch	0,817
	trocken	0,439
Nußbaumholz		0,677
Cypressenholz		0,598
Cedernholz		0,561
Pappelholz		0,383
Kork		0,240

Specifiſches Gewicht einiger Flüſſigkeiten

(bei 0°, wo nichts weiter bemerkt iſt).

Deſtillirtes Waſſer	1,000
Queckſilber	13,598
Brom	2,966
Schwefelſäure (engliſche)	1,848
Verdünnte Schwefelſäure nach Delezenne bei 15° C.:	
10 Proc. Säure	1,066
20 „ „	1,138
30 „ „	1,215
40 „ „	1,297
50 „ „	1,387
60 „ „	1,486
70 „ „	1,595
80 „ „	1,709
90 „ „	1,805
100 „ „	1,848
Verdünnte Salpeterſäure:	
10 Proc Säure	1,054
20 „ „	1,111
30 „	1,171
40 „ „	1,234
50 Proc. Säure	1,295
60 „ „	1,348
70 „ „	1,398
80 „ „	1,438
90 „ „	1,473
100 „ „	1,500
Schwefelkohlenſtoff	1,272
Glycerin	1,260
Milch	1,030
Meerwaſſer	1,026
Wein: Malaga=	1,022
„ Rhein=	0,999
Oel: Citronenöl	0,852
„ Leinöl	0,953
„ Mohnöl	0,929
„ Olivenöl	0,915
„ Terpentinöl	0,872
Benzol	0,868
Alkohol, abſoluter	0,793
Schwefeläther	0,715
Valyl (C_5H_9)	0,694

Specifiſches Gewicht einiger Gaſe

(bei 0° und 760^{mm} Barometerſtand).

Atmoſphäriſche Luft	0,001299
Sauerſtoff	0,001432
Stickſtoff	0,001267
Waſſerſtoff	0,000089
Chlor	0,00321
Kohlenſäure	0,00198
Stickoxydulgas	0,00197
Leuchtgas	0,00082

Aufgaben.

Zu §. 9

1. Man hat gefunden, daß 6 Kubikcentimeter Kupfer 53 Gramm wiegen, was ist das specifische Gewicht des Kupfers?

2. Ein Marmorblock wiegt 59 Kilogramm, wie viel Kubikdecimeter beträgt sein Rauminhalt, wenn das specifische Gewicht des Marmors gleich 2,84 ist?

3. Wie viel wiegt eine Eisenmasse von 6,8 Kubikdecimetern Inhalt, wenn das specifische Gewicht des Eisens 7,8 ist?

4. Eine Bleikugel soll 500 Gramm wiegen, wie groß muß ihr Durchmesser sein, wenn das specifische Gewicht des Bleies 11,3 ist? (Stereometrie S. 109.)

5. Welchen Raum (in Kubikcentimetern ausgedrückt) nehmen 6 Kilogramm Quecksilber (specif. Gewicht 13,598) ein?

6. Was wiegen 100 Liter absoluten Weingeistes (specif. Gewicht 0,793)?

7. Welchen Raum nehmen 500 Gramm gasförmiger Kohlensäure ein, wenn das specifische Gewicht derselben 0,00198 ist?

8. Welchen Raum nehmen 500 Gramm Wasserstoffgas ein, wenn das specifische Gewicht desselben 0,0000894 ist?

9. In ein verticalstehendes Gefäß von 1 Decimeter innerem Durchmesser werden 12 Kilogramm Quecksilber gegossen. Bis zu welcher Höhe wird es den Cylinder füllen?

10. Ein 21 Kilogramm schwerer cylindrischer Stab von Eisen ist 2,5 Meter lang, wie groß ist sein Durchmesser?

11. Ein Quecksilbersäulchen, welches in einer Capillarröhre eine Länge von 137 Millimeter einnimmt, wiegt 1 Gramm. Wie groß ist der Durchmesser des Röhrchens?

12. Welches ist der Preis einer gußeisernen Röhrenleitung von 2134 Meter Länge, 0,245 Meter innerem Durchmesser und 0,014 Meter Wanddicke, wenn das specifische Gewicht des Gußeisens 7,2 ist und 1 Kilogramm desselben 6 Kreuzer ($1^1/_2$ Silbergroschen) kostet?

Zu §. 16

Die folgenden 6 Aufgaben sind durch geometrische Construction zu lösen. Zur Ausführung dieser Construction kann man sich in Ermangelung anderer der Maßstäbe und des Transporteurs bedienen, welche meinen *Elementen der ebenen Geometrie und Stereometrie* (Braunschweig 1859) beigegeben sind.

13. Auf einen materiellen Punkt wirken zwei Kräfte 8 und 5, welche einen Winkel von 45° mit einander bilden, wie groß ist ihre Resultirende und welchen Winkel macht sie mit der kleineren der beiden Seitenkräfte?

14. Die Resultirende zweier auf einen Punkt wirkender Kräfte 5 und 7 ist gleich 9; welchen Winkel machen die Seitenkräfte mit einander?

15. Unter welchem Winkel müssen die Seitenkräfte 5 und 7 zusammenwirken, wenn ihre Resultirende gleich 4 sein soll?

16. Jede der beiden Seitenkräfte sei gleich 5, der Winkel, welchen sie mit einander machen, sei 63°; wie groß ist die Resultirende?

17. Jede der beiden Seitenkräfte sei 5; unter welchem Winkel müssen sie zusammenwirken, wenn ihre Resultirende gleich 8, unter welchem Winkel, wenn die Resultirende gleich 2 sein soll?

18. Wie groß müssen zwei gleiche Seitenkräfte sein, deren Resultirende gleich 8 sein soll, wenn sie unter einem Winkel von 50° auf einen materiellen Punkt wirken?

Ueber die Berechnung dieser Aufgaben siehe Supplementband Seite 9.

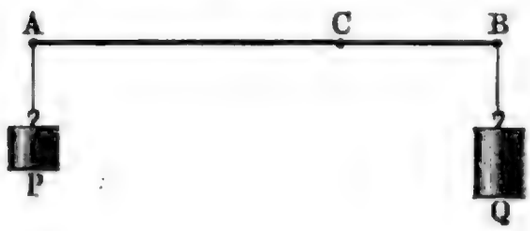
19. Mit welcher Kraft muß an dem Seil bei a gezogen werden, um mit Hülfe des Flaschenzuges Fig. 13 auf Seite 22 eine Last von 5 Centnern zu heben? Zu §. 17

20. Mit welcher Kraft muß an dem freien Seilende des Flaschenzuges Fig. 13 a auf Seite 22 gezogen werden, um mit Hülfe desselben einen 7 Meter langen, 2 Decimeter breiten und 3 Decimeter hohen Balken von Tannenholz zu heben?

(Das specifische Gewicht des trocknen Tannenholzes findet man in der Tabelle auf Seite 586.)

21. An einem mathematischen Hebel, Fig. 569, dessen Stützpunkt in C ist, sind in A und B die Gewichte P und Q angehängt. Wenn nun $P = 3$ Pfund 6 Loth, $AC = 7{,}3$ Zoll und $CB = 2{,}7$ Zoll ist, wie groß muß Q sein, wenn Gleichgewicht stattfinden soll? Zu §. 18

Fig. 569.

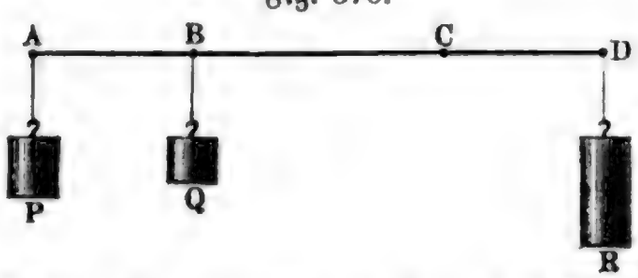


22. Wie groß ist in dem eben betrachteten Falle das statische Moment einer jeden der beiden Kräfte.

23. Das an dem Hebelarm $AC = 53$ Centimeter angehängte Gewicht P sei 134 Gramm. Wie groß muß der Hebelarm BC sein, wenn für eine in B angehängte Last von 250 Grammen Gleichgewicht stattfinden soll?

24. An den Hebelarmen von 18 und 11 Centimetern hängen links vom Unterstützungspunkt C (Fig. 570) eines mathematischen Hebels die Kräfte $P = 93$ und $Q = 64$. Welches ist die Summe der statischen Momente dieser Kräfte und welches Gewicht R muß man auf der anderen Seite von C am Hebelarm 7 anhängen, um ihnen das Gleichgewicht zu halten?

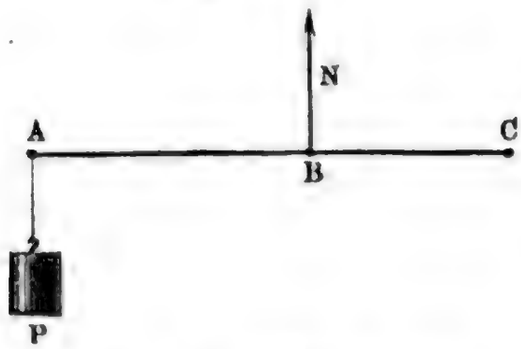
Fig. 570.



25. An der Pumpe Fig. 115 Seite 98 sei die Länge des Hebelarms, an welchem die Kolbenstange angehängt ist, 7 Zoll, der Hebelarm, an welchem die Hand des Arbeiters angreift, sei 33 Zoll; mit welcher Kraft wird der Kolben gehoben, wenn der Arbeiter den Hebel mit einer Kraft von 25 Pfund niederdrückt?

Zu §. 19 26. An dem einarmigen Hebel Fig. 571 ist in A ein Gewicht von 520 Gramm angehängt, während in B eine nach oben gerichtete Kraft N zieht. Wie groß muß N sein, wenn $AC = 42$ Centimeter und BC gleich 18 Centimeter ist?

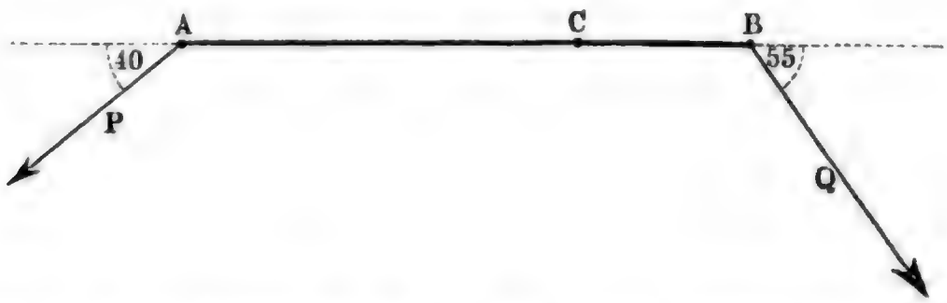
Fig. 571.



27. An der zur hydraulischen Presse gehörigen Druckpumpe, Fig. 66, Seite 62 drückt der Arbeiter den einarmigen Hebel bei l an einem Hebelarm von 9 Decimeter angreifend mit einer Kraft von 45 Pfund nieder. Mit welcher Kraft wird der Kolben s niedergedrückt, wenn derselbe an einem Hebelarm von 1,8 Decimetern angehängt ist?

Zu §. 20 28. An dem geradlinigen mathematischen Hebel AB, Fig. 572, dessen

Fig. 572.



Drehpunkt C um 3 Centimeter von B und um 7 Centimeter von A entfernt ist, greift bei B eine Kraft Q von 5 Pfund an, deren Richtung mit der Richtung des Hebels einen Winkel von 55 Grad macht. Wie groß muß eine bei A angreifende Kraft P sein, deren Richtung einen Winkel von 40^0 mit der Verlängerung des Hebels macht, wenn sie der Kraft Q das Gleichgewicht halten soll?

29. Wie groß ist für den eben betrachteten Fall das statische Moment einer jeden der beiden Kräfte P und Q?

30. Wenn Größe und Richtung der Kraft Q, sowie auch die Hebelarme AC und BC denselben Werth behalten wie im vorigen Beispiel, unter welchem Winkel müßte eine Kraft $P = 2$ Pfund in A angreifen, wenn sie der Kraft Q das Gleichgewicht halten soll?

Zu § 21 31. Die Länge des Kurbelarmes F am Haspel Fig. 27 Seite 30 sei gleich 15 Zoll, der Radius des Wellbaums sei 3,5 Zoll, welche Last kann mit

Hülfe dieſes Haspels gehoben werden, wenn an jeder der beiden an der Umdrehungsaxe angebrachten Kurbeln ein Mann mit einer Kraft von 45 Pfund arbeitet?

32. Der Radius des Wellbaums D an dem zuſammengeſetzten Haspel Fig. 29 Seite 32 ſei 5 Zoll, das Rad H habe 60, der in daſſelbe eingreifende Trieb habe 12 Zähne; die Länge des Kurbelarms auf jeder Seite der Maſchine betrage 12 Zoll.

Wenn nun an jeder dieſer Kurbeln ein Mann arbeitet, welchen Druck muß jeder der beiden Arbeiter anwenden, wenn eine Laſt von 10 Centnern gehoben werden ſoll?

33. Welches Verhältniß findet ſtatt zwiſchen Kraft und Laſt auf einer ſchiefen Ebene, welche einen Winkel von 5° mit der Horizontalen macht? Zu §. 22

34. Welches Verhältniß findet ſtatt zwiſchen Kraft und Laſt auf einer ſchiefen Ebene, deren Steigung 5, 10, 15 Procent beträgt (d. h. auf einer ſchiefen Ebene, welche bei einer Länge von 100 Fuß um 5, 10, 15 Fuß ſteigt)?

35. Wie viel Procent beträgt die Steigung der ſchiefen Ebene Fig. 30 Seite 33, wenn man mit einem bei P angehängten Gewichte von 150 Gramm das Herabrollen eines 1000 Gramm ſchweren Körpers a verhindern kann? Welchen Winkel macht für dieſen Fall die ſchiefe Ebene mit der Horizontalen?

36. Ein Pferd kann in gewöhnlichem Schritte gehend eine Zugkraft von ungefähr 150 Pfund ausüben und mit dieſer auf einer horizontalen Chauſſee eine auf einen Wagen geladene Laſt von 20 Centnern fortziehen. Um auf dieſe Weiſe 40 Centner auf ebener Straße fortzuziehen, hätte man alſo 2 Pferde nöthig. Wie viel Pferde Vorſpann müßte man nehmen, um dieſe Laſt auf einer Landſtraße hinaufzuziehen, welche 3, 7, 12 Procent Steigung hat?

37. Auf einer horizontalen Eiſenbahn kann ein Pferd eine Laſt von 400 Centnern fortziehen. Wie viel Pferde Vorſpann ſind nöthig, um dieſe Laſt auf einer Eiſenbahn in die Höhe zu ziehen, welche 3 Procent Steigung hat?

38. Der Radius der Spindel an der Schraubenwinde Fig. 35 auf Seite 36 ſei 1 Zoll, die Höhe eines Schraubenganges ſei $\frac{1}{2}$ Zoll. Wie viel Procent beträgt die Steigung der Schraube? Mit welcher am Umfang der Spindel angreifenden Kraft muß dieſelbe gedreht werden, wenn eine auf k liegende Laſt von 3 Centnern gehoben werden ſoll? Welche Kraft müßte zur Hebung der gleichen Laſt bei l an einem Hebelarm von 11 Zoll wirken? Zu §. 23

39. Der Umfang der Spindel der Schraubenpreſſe Fig. 36 Seite 37 ſei 80, die Höhe eines Schraubenganges ſei 8 Millimeter. Mit welcher Kraft wird die Preßplatte $k\,k$ niedergedrückt, wenn bei l, an einem Hebelarm von 5 Decimetern, ein Druck von 15 Kilogramm ausgeübt wird?

40. Der Widerſtand, welchen der Holzklotz Fig. 37 Seite 38 einem Zerreißen längs der Richtung ſeiner Axe entgegenſetzt, ſei gleich dem Druck von 200 Pfund. Mit welcher Kraft muß man gegen den Rücken des Keils drücken, Zu §. 24

um das Holzstück zu zerreißen, wenn die Länge des Keils 8 Zoll, die Breite des Rückens aber 2 Zoll ist?

41. Der Keil einer Oelpresse ist 12 Zoll lang und sein Rücken ist 3 Zoll breit. Mit welcher Kraft wird der Oelkuchen zusammengepreßt, wenn gegen den Rücken des Keils eine Kraft von 100 Pfund wirkt?

Zu §. 31

42. Welches ist das Minimum des Gewichtes, welches man an einen Stab von Kiefernholz, welcher 3 Quadratcentimeter Querschnitt hat, anhängen muß, um ihn zu zerreißen?

43. Welches ist die Gränze der Tragkraft eines runden eisernen Stabes von 1,2 Centimeter Durchmesser?

44. Wie dick muß ein Messingdraht sein, wenn 500 Pfund die Gränze seiner Tragkraft sein soll?

45. Welches ist die Gränze der Tragkraft für ein schmiedeeisernes Rohr, welches 5 Centimeter äußeren und 4 Centimeter inneren Durchmesser hat?

46. Ein Seil von 3 Centimeter Durchmesser riß ab, als man das angehängte Gewicht allmälig bis auf 4000 Kilogramm vermehrt hatte; welches wäre demnach der Festigkeitsmodulus für dieses Seil?

47. Ein Balken von Eichenholz, 12 Centimeter breit, 20 Centimeter hoch, ist einerseits eingemauert und ragt aus der Mauer noch 1 Meter hervor. Welche Last Q müßte man mindestens an dem freien Ende anhängen, um den Balken abzubrechen?

48. Der Festigkeitsmodulus, d. h. das Gewicht, welches nöthig ist, um einen Stab abzureißen, dessen Querschnitt gleich ist der Flächeneinheit, ist natürlich eine relative Zahl, welche abhängt von der Wahl der Flächeneinheit und von der der Gewichtseinheit. Die Tabelle auf Seite 54 des Grundrisses giebt den Festigkeitsmodulus für Quadratcentimeter und Kilogramm. Wie groß ist der Festigkeitsmodulus der in jener Tabelle genannten Substanzen, wenn man den preußischen Quadratzoll (1 Zoll preuß. = 2,6 Centimeter) zur Flächeneinheit und das Pfund (zu 500 Gramm) zur Gewichtseinheit nimmt.

49. Ein 5 Zoll (preuß.) breiter, 1 Zoll hoher Balken von Kiefernholz ist an seinen beiden Enden eingemauert. Das zwischen beiden Mauern befindliche freie Stück des Balkens ist 18 Fuß lang. Welche Last müßte man mindestens auf der Mitte dieses Balkens auflegen, um ihn zu zerbrechen?

Zu §. 34

50. An einer hydraulischen Presse sei der Durchmesser des Pumpenkolbens 1 Zoll (also $r = 0{,}5$ Zoll), der Durchmesser des Druckkolbens sei 12 Zoll (also $R = 6$ Zoll). Es sei ferner $l = 8$ Zoll, $L = 36$ Zoll. Mit welcher Kraft D muß der Arbeiter drücken, damit der Druck K, durch welchen der große Kolben gehoben wird, gleich 40000 Pfund sei?

51. Wie groß ist für die oben angegebenen Dimensionen der hydraulischen Presse der Werth von K, wenn $D = 25$ Pfund ist?

52. Wie groß müßte bei übrigens unveränderten Dimensionen der hydraulischen Presse der Durchmesser des Pumpenkolbens sein, wenn der Arbeiter durch eine Kraft $D = 30$ Pfund einen Druck $K = 50000$ Pfund ausüben sollte?

53. Der Boden eines Wasserständers hat 6 Quadratdecimeter Oberfläche und befindet sich 7 Decimeter unter dem Wasserspiegel, welchen Druck hat der Boden auszuhalten? Zu §. 37 u. 38

54. Ein Glasgefäß, dessen Boden 3 Quadratzoll preußisch beträgt, ist 9 Zoll hoch mit Quecksilber gefüllt; welchen Druck hat der Boden auszuhalten?

55. In einer Röhrenleitung steht eine Wassersäule von 350 Fuß Höhe, wie groß ist der Druck, den jeder Quadratzoll der Wandfläche am unteren Ende der Röhrenleitung auszuhalten hat?

56. Ein cylindrisches, mit Wasser gefülltes Gefäß hat 6 Decimeter Durchmesser. Wie groß ist der Gesammtdruck, den ein ringförmiges Stück der Gefäßwand auszuhalten hat, welches 1 Decimeter hoch ist und dessen obere Gränze 5 Decimeter unter dem Wasserspiegel liegt?

57. Wie viel wird eine sechspfündige Kugel von Gußeisen noch wiegen, wenn dieselbe in Wasser eingetaucht ist? Zu §. 40

58. Wie weit wird ein auf Wasser schwimmender Würfel von trocknem Tannenholz noch aus dem Wasser hervorragen?

59. Mit welcher Kraft wird ein ganz in Wasser untergetauchtes Stück Kork aufwärts getrieben, wenn es in Luft gewogen 73 Gramm wiegt?

60. Ein Stück mit gediegenem Silber durchwachsenen Schwerspaths wiegt 1500 Gramm. In Wasser eingetaucht, beträgt sein Gewichtsverlust 230 Gramm. Wie viel gediegen Silber ist in dem Stück enthalten?

61. Wie schwer wird eine in Wasser untergetauchte Kugel von 2 Zoll Durchmesser wiegen, deren Masse 3 Gewichtstheile Blei auf 2 Gewichtstheile Zinn enthält?

NB. Die zur Lösung dieser Aufgaben nöthigen specifischen Gewichte findet man in der Tabelle auf Seite 586.

62. Auf den Teller des Nicholson'schen Aräometers ist ein Stück Aluminium und außerdem so viel Schrot aufgelegt worden, daß das Instrument bis zur Marke einsinkt. Statt des Aluminiumstückes mußte man 6,85 Gramm auflegen, um ein gleiches Einsinken zu bewirken. Zu §. 42

Nachdem jene 6,85 Gramm entfernt worden und das Aluminiumstück in das Sieb *C* gelegt worden war, mußte man auf den Teller noch 2,57 Gramm auflegen, um das Instrument wieder bis zur Marke einsinken zu machen. Wie groß ist das specifische Gewicht des Aluminiums?

63. Ein für schwerere Flüssigkeiten bestimmtes Volumeter sinkt in drei verschiedenen Mischungen von Wasser und Schwefelsäure ein bis zu den Theilstrichen 72, 85 und 93. Welches ist das specifische Gewicht dieser drei Mischungen? Zu §. 43

64. Ein für leichtere Flüssigkeiten bestimmtes Volumeter sinkt in drei verschiedenen Mischungen von Wasser und Weingeist ein bis zu den Theilstrichen 108, 117 und 128. Welches ist das specifische Gewicht dieser Mischungen?

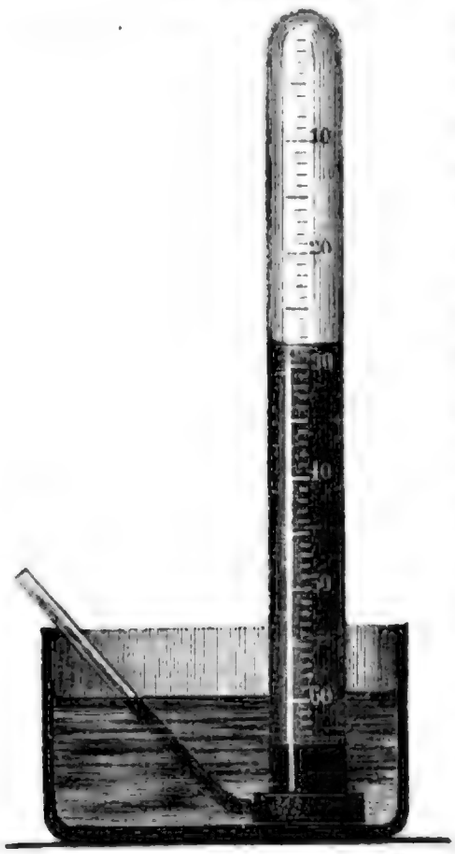
65. An welche Stelle der Volumeterscala fallen die Theilstriche der Densimeterscala, welche den specifischen Gewichten 0,78, 0,93, 1,14 und 1,68 entsprechen?

Zu §. 58 66. Eine gegebene Menge Leuchtgas nimmt beim normalen Barometerstande von 760^{mm} ein Volumen von 5240 Kubikfuß ein; wie groß wird das Volumen dieser Gasmenge sein, wenn der Barometerstand auf 740^{mm} fällt? wie groß, wenn das Barometer auf 768^{mm} steigt?

67. Der Strom einer galvanischen Säule hat, durch ein Voltameter geleitet, in drei Minuten 258 Kubikcentimeter Knallgas bei einem Barometerstande von 736^{mm} geliefert; welchen Raum würde diese Gasmenge bei dem normalen Barometerstande von 760^{mm} einnehmen?

68. In einem Glasrohre (Fig. 573) befindet sich, durch Quecksilber abgesperrt, eine Gasmenge, welche das Volumen von 153 Kubikcentimetern einnimmt. Der Barometerstand beträgt gerade 742^{mm}; der Gipfel der Quecksilbersäule im Rohre steht 85^{mm} über dem Quecksilberspiegel im Gefäß; wie groß würde das Volumen dieser Gasmenge unter einem Drucke von 760^{mm} sein?

Fig. 573.



(Bezeichnen wir allgemein mit b den gerade stattfindenden Barometerstand, mit h die Höhe der Quecksilbersäule im Rohre, so ist der Druck, welchem das Gas im oberen Theile der Röhre ausgesetzt ist, offenbar $b - h$; im obigen Beispiele wäre also der Druck, welchem das Gas ausgesetzt ist, $742 - 85 = 657$ Millimeter.)

69. In einem Gasometer sind 1800 Kubikzoll Sauerstoffgas eingeschlossen und durch eine Wassersäule von 21 Zoll (Pariser) comprimirt. Der Barometerstand ist gleich 27 Zoll 9 Linien. Welches Volumen würde obige Gasmasse einnehmen, wenn sie nur dem normalen Barometerstande (28 Zoll Quecksilberdruck) ausgesetzt wäre? (Zunächst muß berechnet werden, wie hoch eine Quecksilbersäule sein muß, wenn sie einer Wassersäule von 21 Zoll Höhe das Gleichgewicht halten soll.)

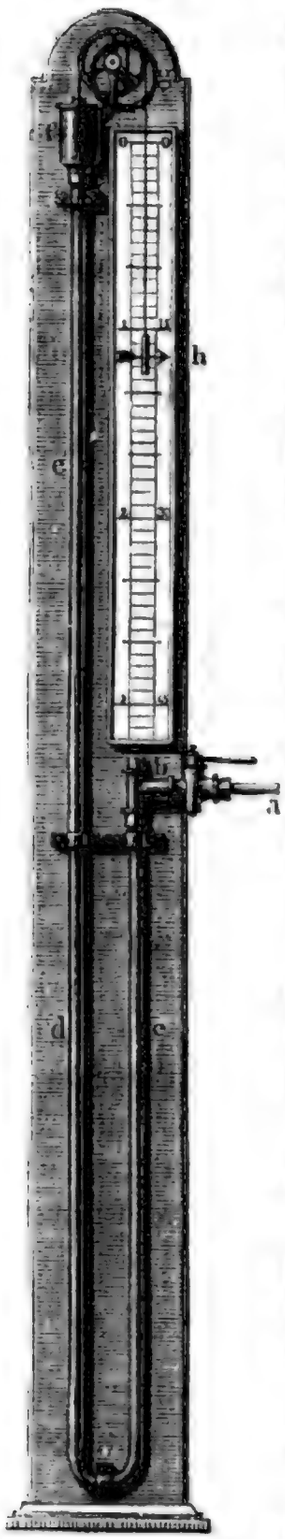
Zu §. 64 70. Die Sperrungsflüssigkeit in dem offenen Manometer, Fig. 138 Seite 113, sei Wasser, dessen Niveau im Schenkel $b\,c$ sich um 3 Centimeter tiefer stellt als im offenen Schenkel $c\,d$, wenn das Manometer bei a mit einem Gasleitungsrohre in Verbindung gesetzt wird. In welchem Verhältniß steht der Druck, welchen das Gas in der Röhrenleitung auszuhalten hat, zu dem äußeren Luftdruck, wenn der Barometerstand 745 Millimeter beträgt?

71. Die gleiche Aufgabe zu lösen für den Fall, daß die Sperrungsflüssigkeit Quecksilber ist, daß das Quecksilber im offenen Schenkel des Manometers 23 Millimeter höher steht als im anderen und daß der Barometerstand 753 Millimeter beträgt.

72. Um die Spannkraft der Dämpfe in Dampfkesseln zu messen, hat

man die Hebermanometer auch in größerem Maßstab aus eisernen Röhren construirt, Fig. 574. Der kürzere Schenkel c ist durch das Rohr a mit dem Innern des Dampfkessels verbunden. Wie groß ist die Spannkraft des Dampfes im Kessel, wenn der Gipfel der Quecksilbersäule in dem oben offenen Schenkel def um 1,7 Meter höher steht als im Schenkel c?

Fig. 574.



73. Wie groß ist die Spannkraft des Dampfes in dem Dampfkessel, auf welchen das Compressionsmanometer Fig. 140 Seite 115 aufgeschraubt ist, wenn die Luft in dem 24 Centimeter langen Compressionsrohre auf $^1/_2$, $^1/_4$, $^1/_6$ ihres ursprünglichen Volumens zusammengepreßt ist?

74. In welcher Höhe über dem unteren Ende des Compressionsrohres Fig 140 Seite 115 müssen die Theilstriche 2, 4, 8 angebracht sein, wenn sie eine Spannkraft des Dampfes von 2, 4, 8 Atmosphären anzeigen sollen?

75. Die untere Fläche des Ventils Fig. 141 auf Seite 115, gegen welche der Dampf drückt, sei gleich 2 Quadratcentimetern; der Druck, welchen der unbelastete Hebel durch sein eignes Gewicht auf das Ventil bei D ausübt, betrage 600 Gramm. Wie groß ist die Spannkraft des Dampfes für den Fall, daß das Abblasen eintritt, wenn ein Gewicht P von 800 Gramm so angehängt wird, daß der Hebelarm, an welchem es wirkt, 8mal so groß ist als der Hebelarm FD?

76. Ein Ballon von Goldschlägerhaut hat 5 Kubikdecimeter Inhalt und wiegt 3 Gramm. Wie groß ist seine Steigkraft (der Auftrieb), wenn er mit Wasserstoffgas gefüllt ist? Zu §. 65

NB. Das specifische Gewicht der atmosphärischen Luft und des Wasserstoffgases findet sich auf Seite 587.

77. Wie groß ist die Steigkraft eines mit Wasserstoffgas gefüllten Ballons von 500 Kubikmeter Inhalt, wenn das Gewicht der Hülle mit allem, was daran hängt, 450 Kilogramm beträgt?

78. Würde derselbe Ballon mit derselben Last noch steigen, wenn er mit Leuchtgas gefüllt wäre?

79. Wie groß ist die Steigkraft eines mit Leuchtgas gefüllten Ballons von 1000 Kubikmeter Inhalt, wenn die Hülle mit allem, was daranhängt, 250 Kilogramm wiegt?

80. Um die Tiefe eines Brunnens zu ermitteln, hat man einen Stein hinabfallen lassen, und von dem Moment, wo man ihn losließ, bis zu dem Moment, in welchem man ihn ins Wasser fallen hörte, $3^1/_2$ Secunden gezählt; wie tief ist der Brunnen (ohne den Luftwiderstand und die Fortpflanzungsdauer des Schalls zu berücksichtigen)? Zu §. 70 und 71

81. Wie viel Zeit würde ein Körper nöthig haben, um eine Höhe von 10000 Fuß (ohne Luftwiderstand) zu durchfallen?

82. Mit welcher Geschwindigkeit kommt eine Bleikugel auf dem Boden an, welche 10, 20, 500 Fuß hoch herabgefallen ist?

Zu §. 73 83. Wenn ein schwerer Körper mit einer Geschwindigkeit von 10, 50, 200, 1000 Fuß vertical in die Höhe geworfen wird, so ist die Frage, in wie viel Secunden er den Gipfel seiner Bahn erreichen und wie hoch er steigen wird?

Zu §. 75 84. Wie groß ist der Fallraum des Mondes gegen die Erde in 1 Secunde (nach Gl. 1 S. 131)?

85. Wie groß ist die beschleunigende Kraft, welche den Mond gegen die Erde treibt (nach Gl. 2 S. 132)?

Um diese beiden Aufgaben auflösen zu können, sind noch folgende Zahlenangaben nöthig: Die Umlaufszeit t des Mondes beträgt 27 Tage 7 Stunden 43 Minuten oder 2 335 380 Secunden. Der Umfang der Erde beträgt 40 000 000 Meter; da aber der Radius der Mondsbahn 60mal so groß ist als der Erdhalbmesser, so ist der Umfang der Mondsbahn $40\,000\,000 \times 60$ Meter.

86. Eine Bleikugel wird an einem 3 Fuß langen Faden so im Kreise herumgeschwungen, daß sie zu jeder Umdrehung $^1/_2$ Secunde Zeit bedarf. Wie groß ist in diesem Fall der Werth von v?

87. Wie groß ist der Werth von v für einen Punkt am Umfange eines Schwungrades, welches einen Halbmesser von 6 Fuß hat und 4 Umdrehungen in 3 Secunden macht?

88. Wie groß ist die Beschleunigung der Schwungkraft für einen auf dem Erdäquator befindlichen Punkt in Folge der täglichen Umdrehung der Erde?

89. Wie schnell müßte sich die Erde um ihre Axe drehen, wenn am Aequator die Centrifugalkraft der Schwerkraft gleich sein sollte?

Zu §. 78 90. Borda fand, daß ein einfaches Pendel, dessen Länge 144 Pariser Zoll betrug, 1818 Schwingungen in der Minute machte. Wie groß ergiebt sich nach diesem Versuch der Werth von g (die beschleunigende Kraft der Schwere) in Pariser Fußen ausgedrückt?

91. Wie groß ist dem Borda'schen Versuch zu Folge die Länge des Secundenpendels?

92. Wie groß ist die Schwingungsdauer eines 100 Fuß langen einfachen Pendels?

93. Wie viel Meter müßte den in §. 78 angegebenen Zahlen zufolge ein einfaches Pendel lang sein, wenn seine Schwingungsdauer 5 Secunden betragen soll?

94. Wie lang ist ein einfaches Pendel, welches halbe Secunden schlägt?

95. Ein im Schiff der Universitätskirche zu Freiburg aufgehängtes Foucault'sches Pendel macht 14 Schwingungen in der Minute, wie lang ist dasselbe?

96. Auf der Oberfläche des Mondes ist der Fallraum der ersten Secunde $\left(\text{also } \frac{g}{2}\right)$ gleich 2,4, auf dem Jupiter ist er 38,5 Pariser Fuß; wie

groß würde die Schwingungsdauer des Pariser Secundenpendels auf dem Mond und auf dem Jupiter sein?

97. Eine 6pfündige Kanonenkugel verläßt das Rohr mit einer Geschwindigkeit von 1200 Fuß, wie groß ist ihre lebendige Kraft? Zu §. 82

98. Wie groß ist die lebendige Kraft eines $^1/_4$ Pfund schweren Hammers, welcher mit einer Geschwindigkeit von 25 Fuß auf den Kopf des Nagels aufschlägt?

99. Wie groß ist der Widerstand des Holzes, wenn der Nagel in sechs Schlägen 1 Zoll tief eindringt?

100. Wie tief dringt der Nagel mit einem Schlage ein, wenn der Widerstand des Holzes einem Druck von 12 Pfund gleichgesetzt werden kann?

101. Wie groß ist (in Meterkilogrammen ausgedrückt) die lebendige Kraft, mit welcher ein Gewicht von 50 Kilogramm auf den Boden aufschlägt, wenn es 7 Meter hoch frei herabgefallen ist ($g = 9{,}088$)?

102. Nehmen wir an, das Gewicht von 50 Kilogrammen sei an einem um eine Welle geschlungenen Seile befestigt, so daß durch das Niedersinken des Gewichtes die Welle umgedreht wird. Der Umdrehung der Welle wirkt aber irgend ein Widerstand, etwa Reibung, entgegen, weshalb der Fall des Gewichtes verzögert wird. Wenn nun das Gewicht, nachdem es 7 Meter herabgesunken ist, eine Geschwindigkeit von 5 Metern erlangt hat, wie groß ist die lebendige Kraft, die es noch besitzt?

103. Da nun aber das unter den angegebenen Verhältnissen 7 Meter hoch herabgefallene Gewicht nicht die volle lebendige Kraft besitzt, welche einer Fallhöhe von 7 Metern entspricht (Aufgabe 101), wie viel lebendige Kraft hat es verloren, was ist also die mechanische Arbeit, welche das Gewicht durch Umdrehung der Welle geleistet hat?

104. Wie groß ist die Ausflußgeschwindigkeit, wenn die Druckhöhe der Reihe nach gleich ist 0,1 Meter, 0,› Meter, 1,6 Meter u. s. w., oder wenn sie ist 2 Fuß, 7 Fuß, 36 Fuß preuß. Maaß? Zu §. 85

105. Wie groß muß die Druckhöhe S sein, um eine Ausflußgeschwindigkeit $v = 0{,}3$ Meter, $v = 1{,}2$ Meter, $v = 7{,}6$ Meter, oder um eine Ausflußgeschwindigkeit $v = 3$ Fuß, $v = 8$ Fuß, $v = 17$ Fuß zu erhalten?

106. Wie groß ist (nach Gl. 1 S. 153) die Ausflußmenge Q für folgende zusammengehörige Werthe des Durchmessers d der Oeffnung und der Druckhöhe s? Zu §. 87

$d = 0{,}02$ Meter und $s = 0{,}3$ Meter
$d = 0{,}02$ „ „ $s = 1{,}0$ „
$d = 0{,}04$ „ „ $s = 7{,}0$ „

107. Wie groß ist die Ausströmungsgeschwindigkeit für atmosphärische Luft unter dem Drucke einer Wassersäule von 0,2 Metern Höhe, wenn der Barometerstand 760 Millimeter beträgt? Zu §. 97

108. Wie groß ist unter gleichem Druck die Ausflußgeschwindigkeit der Kohlensäure und des Wasserstoffgases?

Zu §. 104

109. Zwischen der Wahrnehmung des Feuers und des Knalles einer abgefeuerten Kanone vergehen $7^1/_2$ Secunden; wie weit ist die Kanone entfernt?

110. Zwischen der Wahrnehmung von Blitz und Donner vergehen 25 Secunden; wie weit ist das Gewitter entfernt?

111. Einem Beobachter in A (Fig. 575) erscheint die von einem Blitzstrahl durchlaufene Strecke CB unter einem Winkel von 30^0; 10 Secunden nach der Wahrnehmung des Blitzes beginnt das Rollen des Donners, welches 7 Secunden lang anhält; wie groß ist die Länge BC des Blitzes?

112. Man läßt einen Stein in einen 475 Fuß tiefen Brunnen fallen; welche Zeit vergeht zwischen dem Augenblick, in welchem man den Stein losläßt, und dem Moment, in welchem man ihn ins Wasser fallen hört?

Fig. 575.

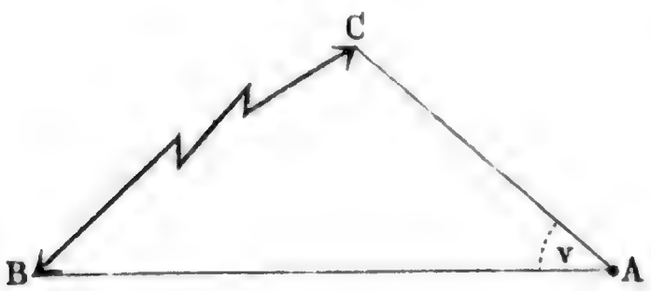


Fig. 576.

113. Zwischen dem Augenblick, in welchem man einen Stein losläßt, und demjenigen, in welchem man ihn auf den Boden eines Schachtes aufschlagen hört, vergehen $5^1/_2$ Secunden; wie tief ist der Schacht?

114. Ein Regiment ist in Colonnen aufgestellt, wie Fig. 576 andeutet. Der Zwischenraum zwischen je zwei auf einander folgenden Colonnen beträgt 15 Fuß. Wenn nun in einem bestimmten Moment die Tambouren bei a zu schlagen beginnen und jede Colonne in demselben Augenblick mit dem linken Fuß antritt, in welchem sie den ersten Trommelschlag hört, so müssen offenbar die hinteren Reihen später antreten, als die vorderen. Es ist nun die Frage, die wievielte Colonne beginnt den ersten Schritt in demselben Moment, in welchem die Mannschaft der ersten Reihe b den ersten Schritt vollendet hat, also den linken Fuß zum ersten Male wieder aufsetzt, vorausgesetzt, daß die Schrittdauer $^1/_2$ Secunde beträgt?

Zu §. 110

115. Wie groß ist die Wellenlänge des Grundtones einer offenen 18 Pariser Zoll langen Röhre?

116. Wie groß ist die Schwingungsdauer dieses Tones (v gleich 1050 Pariser Fuß)?

117. Welches ist die musikalische Bezeichnung dieses Tones, wenn die Stimmgabel a, also $\overline{a}$ 440 Schwingungen in der Secunde macht?

118. Wie groß ist danach die Schwingungszahl der Töne $\overline{c}$, $\overline{e}$, $\overline{g}$ und $\overline{\overline{c}}$?

119. Wie lang muß eine offene Pfeife sein, wenn ihr Grundton $\overline{a}$ sein soll?

120. Wie lang muß eine gedeckte Pfeife sein, deren Grundton C sein soll?

121. Der höchste noch hörbare Ton wird durch 36000 Schwingungen in der Secunde erzeugt. Wie groß ist die Wellenlänge dieses Tones?

122. Wenn der Ton c in der Secunde 132 Schwingungen macht, welches ist die Schwingungszahl für die reinen Töne d, e, f, g, a, h und $\bar{c}$ der diatonischen Tonleiter?

123. Welches ist die Schwingungszahl der 12 Töne der chromatischen Tonleiter von c bis $\bar{c}$ für gleichschwebende Temperatur?

124. Eine Stahlsaite von 1 Meter Länge ist so gespannt, daß sie den Ton c giebt; wie lang müßte dieselbe Saite bei unveränderter Spannung sein, um die Töne d, e, f, g, a, h und $\bar{c}$ zu geben? Zu §. 111

125. Eine Stahlsaite giebt durch eine Kraft von 4 Kilogramm gespannt den Ton c; durch welche Kräfte müßte man diese Saite bei unveränderter Länge spannen, wenn sie die Töne d, e, f, g, a, h und $\bar{c}$ geben sollte?

126. Eine Stahlsaite von 1,2 Millimeter Durchmesser ist so gespannt, daß sie den Ton c giebt; wie dick müßte die Saite sein, um bei gleicher Länge und gleicher Spannung die große Terz, die Quint und die Octav von c zu geben?

127. Ein Stahlstab von der Form Fig. 234 Seite 209, welcher 15 Centimeter lang und 7 Millimeter dick ist, giebt den Ton $\bar{\bar{gis}}$. Es wird nun gefragt Zu §. 112

a. wie dick müßte ein Stahlstab bei gleicher Länge sein, wenn er die große Terz, die Quint und die Octav von $\bar{\bar{gis}}$ geben sollte?

b. wie lang müßte man einen 7 Millimeter dicken Stab machen, wenn er die oben genannten Töne geben soll?

128. Die Stimmgabel gehört auch in die Kategorie vibrirender Stäbe und annähernd kann man jeden Schenkel betrachten als einen an dem einen Ende festgeklemmten Stab. Welchen Einfluß hat es nun auf die Tonhöhe, wenn man die Schenkel der Stimmgabel verkürzt?

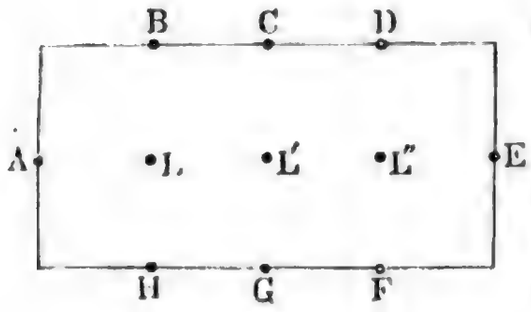
129. Welchen Einfluß hat es auf die Tonhöhe einer Stimmgabel, wenn man ihre Schenkel durch Abfeilen der einander zugekehrten Flächen dünner macht?

130. Bei unveränderter Erleuchtung von der Rückseite muß man auf der Vorderseite des Bunsen'schen Photometers die Normalkerze in einer Entfernung von 1,8 Fuß, eine Argand'sche Lampe aber in einer Entfernung von 7 Fuß von dem Papierschirm aufstellen, damit der Fettfleck unsichtbar wird. Wie groß ist die Leuchtkraft der Argand'schen Lampe? Zu §. 119

131. Eine Wachskerze giebt bei 3 Fuß Entfernung eine eben so starke Erleuchtung wie eine Gasflamme in 9 Fuß Entfernung. Die Wachskerze kostet 0,8 Kreuzer, die Gasflamme 1,2 Kreuzer per Stunde. Wie viel Wachskerzen müßte man anwenden, um eine der Gasflamme gleiche Lichtstärke zu erhalten und wie viel mal theurer würde die Erleuchtung durch Wachskerzen sein?

132. In einem Saale von 20 Fuß Breite und 40 Fuß Länge sind drei Argand'sche Lampen auf der Längsaxe des Saales bei L, L' und L'', Fig. 577, so angebracht, daß der Abstand AL sowohl wie der Abstand EL'', $L'L''$ und $L'L$ gleich 10 Fuß ist. Nimmt man nun die Erleuchtung, welche eine Argand'sche Lampe in 10 Fuß Entfernung hervorbringt, zur Einheit, wie groß ist alsdann die durch die drei Lampen in den Punkten $A, B, C, D \ldots H$ hervorgebrachte Erleuchtung?

Fig. 577.



133. Wie groß würde die Erleuchtung in den Punkten $A, B, C, D \ldots H$ sein, wenn man die drei Lampen in der Mitte des Saales bei L' vereinigte?

Zu §. 121

134. Die Scale $m\,n$, Fig. 258 Seite 230, eines Poggendorff'schen Spiegelapparates sei in Millimeter getheilt, der Abstand des Maßstabes von der Mitte des Spiegels, also $a\,o$, sei 2 Meter. Wie groß ist der Winkel, um welchen der Spiegel aus seiner Mittellage gedreht ist, wenn das Bild des Theilstrichs 1 (d. h. eines von dem Punkt o um 1 Millimeter abstehenden Theilstrichs) am Fadenkreuz des Fernrohres erscheint, oder mit anderen Worten, wie groß ist ε, wenn $n = 1$?

135. Zwei ebene Spiegel machen einen Winkel von 45 Grad mit einander. Es sind die Bilder eines zwischen diesen Winkelspiegeln befindlichen leuchtenden Punktes zu construiren. (Die Zeichnung ist in dem doppelten Maßstab der Fig. 259 Seite 231 auszuführen.)

Zu §. 123

136. Die Brennweite eines Hohlspiegels sei 9 Zoll, wie groß ist sein Krümmungshalbmesser? Der Krümmungshalbmesser eines Hohlspiegels beträgt 8 Centimeter, die Lage seines Brennpunktes soll durch Construction gefunden werden (vergleiche Fig. 263 auf Seite 234).

137. Auf der Axe dieses Hohlspiegels befindet sich ein leuchtender Punkt A (vergleiche Fig. 266 auf Seite 235), welcher 12 Centimeter von dem Krümmungsmittelpunkt C des Hohlspiegels (also 20 Centimeter von der Mitte d des Spiegels) entfernt ist. Wie weit liegt das Bild a des Punktes A von C entfernt? Diese Aufgabe ist durch Construction zu lösen.

138. Dieselbe Aufgabe zu lösen für den Fall, daß der Abstand des Punktes A von der Mitte d des Spiegels 30, und für den Fall, daß dieser Abstand 12 Centimeter beträgt.

139. Auf der Axe desselben Hohlspiegels liegt ein leuchtender Punkt 6 Centimeter weit von d entfernt, wie groß ist die Entfernung seines Bildes von d?

Auch diese Aufgabe ist durch Construction zu lösen.

140. Ein leuchtender Punkt A (vergleiche Fig. 267 Seite 236) liege auf der Axe eines Hohlspiegels von 4 Centimetern Brennweite 3 Centimeter von der Mitte d des Spiegels entfernt; durch Construction den Punkt a zu finden, von

welchem die von A ausgehenden Strahlen nach der Reflexion durch den Hohlspiegel divergiren.

141. Ein Pfeil von 1 Centimeter Höhe befindet sich 65^{mm} weit von der Mitte eines Hohlspiegels von 4^{cm} Brennweite und zwar so, daß die Hälfte seiner Länge über, die Hälfte unter der Axe des Hohlspiegels liegt. Das Bild dieses Pfeils soll construirt werden (vergleiche Fig. 269). Wie hoch ist das Bild?

142. Dieselbe Aufgabe zu lösen für den Fall, daß ein 24^{mm} hoher Pfeil 18 Centimeter weit von der Mitte des Spiegels entfernt ist.

143. Ein Pfeil von 1 Centimeter Höhe liegt 2 Centimeter weit vor der Mitte eines Hohlspiegels von 4^{cm} Brennweite. Das Bild des Pfeils soll construirt werden (vergleiche Fig. 271 Seite 239).

144. Der Krümmungshalbmesser eines Convexspiegels beträgt 8 Centimeter. Die Lage seines Hauptzerstreuungspunktes soll durch Construction bestimmt werden (vergleiche Fig. 272). Zu §. 125

145. Ein Pfeil von 24^{mm} Höhe liegt 4 Centimeter weit von der Mitte des Spiegels entfernt (vergleiche Fig. 273), das Bild des Pfeils soll construirt werden. Wie hoch ist das Bild?

146. Wenn ein Lichtstrahl so auf eine ebene Wasseroberfläche fällt, daß er einen Winkel von 60^0 mit dem Einfallsloth macht, so wird er nach dem Uebergange in Wasser einen Winkel von $40^0\,14'$ mit dem Einfallsloth machen. Wie groß ist demnach der Brechungsexponent für den Uebergang eines Lichtstrahles aus Luft in Wasser? Zu §. 127

147. Für den Uebergang aus Luft in Glas hat man als zusammengehörige Werthe des Einfalls- und Brechungswinkels gefunden $i = 60^0$ und $r = 34^0 28'$. Wie groß ist demnach der Brechungsexponent des Glases?

148. Wie groß müssen beim Uebergang eines Lichtstrahles aus Luft in Wasser die Einfallswinkel sein, wenn die zugehörigen Brechungswinkel 10, 20, 30 und 40^0 sein sollen?

149. Wie groß sind beim Uebergang aus Luft in Wasser die Brechungswinkel, welche den Einfallswinkeln 10, 20, 30 u. s. w. bis 90^0 entsprechen?

150. Ein Lichtstrahl fällt so auf eine ebene Glasfläche, daß der Einfallswinkel $i = 42^0$ ist; wie groß ist der zugehörige Brechungswinkel?

151. Wie groß ist beim Uebergang aus Luft in Glas der Werth des Brechungswinkels r, welcher den Einfallswinkeln i gleich 5, 15, 25 u. s. w. bis 85^0 entspricht?

NB. Die Aufgaben 148 bis 151 können sowohl durch Rechnung als auch durch Construction gelöst werden. Im ersteren Falle nehme man für den Brechungsexponenten aus Luft in Wasser $n = 1{,}34$ und für den Brechungsexponenten aus Luft in Glas $n = 1{,}53$. Wenn man aber die Aufgaben durch Construction lösen will, so kann man die angenäherten Brechungsexponenten $n = 1{,}33\ldots = {}^4/_3$ und $n = 1{,}5 = {}^3/_2$ in Anwendung bringen.

152. Für den Uebergang aus Luft ist der Brechungsexponent für

Wasser	1,34
Alkohol	1,37
Benzol	1,50
Crownglas	1,53
Flintglas	1,64
Schwefelkohlenstoff	1,68
Diamant	2,47

Wie groß ist für diese Substanzen der Werth des Gränzwinkels?

153. Wie groß ist der Brechungsexponent für den Uebergang eines Lichtstrahles aus Wasser in Benzol?

154. Wie groß ist der Brechungsexponent für den Uebergang eines Lichtstrahles aus Wasser in Schwefelkohlenstoff?

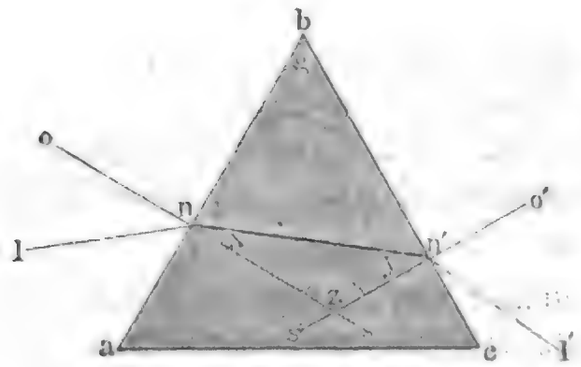
155. Wie groß ist der Werth des Gränzwinkels für den Uebergang eines Lichtstrahles aus Wasser in Benzol?

156. Wie groß ist der Gränzwinkel für den Uebergang eines Lichtstrahles aus Wasser in Schwefelkohlenstoff?

Zu §. 128

157. Der brechende Winkel g des Glasprismas Fig. 578 sei 60°. Ein Strahl ln treffe die vordere Fläche ab so, daß der Einfallswinkel i ($i = lno$) gleich 52° ist. Durch Construction die Richtung des gebrochenen Strahls nn' und des austretenden Strahls $n'l'$ zu finden unter der Voraussetzung, daß der Brechungsexponent der Prismensubstanz $^3/_2$ ist.

Fig. 578.



Nach Ausführung der Construction ist der Winkel zu messen, welchen der einfallende Strahl ln mit dem austretenden $n'l'$ macht.

158. Der brechende Winkel eines Flintglasprismas sei 60°, der Brechungsexponent des Glases 1,63. Durch Rechnung zu bestimmen, wie groß für $i = 52°$ der Winkel x, der Winkel y und der Winkel i' ($i' = o'n'l'$) ist und endlich anzugeben, welchen Winkel D der austretende Strahl $n'l'$ mit dem eintretenden nl macht.

159. Für ein Glasprisma sei $g = 45°$, $n = 1{,}53$, wie groß werden x, y, i' und D für $i = 39°$, $i = 31°$ und für $i = 28°$ (durch Rechnung zu lösen)?

160. Welche Beziehung besteht zwischen den Winkeln x, y und g, Fig. 577? Wie groß ist $x + y$ für $g = 60°$ und für $g = 45°$?

161. In welchem Verhältniß steht jeder der Winkel x und y zu g für den Fall, daß $x = y$? Wie groß ist x und y, wenn $x = y$ und $g = 60°$ oder $y = 45°$?

162. Wenn der gebrochene Strahl $n n'$, Fig. 578, gleiche Winkel mit der Eintritts- und Austrittsfläche des Prismas macht, wenn also $x = y$, so ist die durch das Prisma hervorgebrachte Ablenkung (der Winkel D, welchen der einfallende Strahl ln mit dem austretenden $n'l'$ macht) kleiner als für jede andere Richtung des Strahls im Prisma. Wie groß ist nun

a) das Minimum der Ablenkung für das in der Aufgabe 157 besprochene Prisma (durch Construction zu lösen)?

b) das Minimum der Ablenkung für das in der Aufgabe 158 besprochene Flintglasprisma?

c) das Minimum der Ablenkung für ein Wasserprisma, dessen brechender Winkel 60° und für ein solches, dessen brechender Winkel 45° ist?

163. Der Krümmungshalbmesser einer gleichgewölbten biconvexen Linse von der Form Fig. 289 Seite 250 betrage 4 Centimeter. Wie groß ist die Brennweite der Linse, wenn der Brechungsexponent der Linsensubstanz 1,5 ist? Zu §. 130

164. Auf der Axe dieser Linse, deren Durchmesser AB gleich 2 Centimeter sein mag, liege ein leuchtender Punkt S 18 Centimeter weit von der Mitte der Linse entfernt; es soll durch Construction der Vereinigungspunkt R für das von S ausgehende, auf die Linse fallende Strahlenbündel gesucht werden.

165. Dieselbe Aufgabe zu lösen für den Fall, daß der Abstand des leuchtenden Punktes S von der Mitte der Linse 12, 8, 6 und 5 Centimeter beträgt.

166. Ein leuchtender Punkt T (vergleiche Fig. 293 auf Seite 253) liege auf der Axe eben dieser Linse um 2 Centimeter von der Mitte der Linse entfernt (also innerhalb der Brennweite); es soll durch Construction die Lage des Punktes V ermittelt werden, von welchem die Strahlen nach ihrem Durchgang durch die Linse zu divergiren scheinen.

167. Von einem Pfeil von 1 Centimeter Höhe, welcher halb über halb unter der Axe der in den Aufgaben 163 bis 166 besprochenen Linse liegt und dessen Mitte um 6 Centimeter von der Mitte der Linse entfernt ist, soll das Bild construirt werden. Wie verhält sich die Größe des Bildes zur Größe des Gegenstandes (vergleiche Fig. 298 Seite 255). Zu §. 138

168. Das Bild eines Pfeiles zu construiren, dessen Mitte 18 Centimeter weit von der Mitte der Linse entfernt ist. Die Höhe des Pfeiles, welcher halb über halb unter der Axe liegt, sei 3 Centimeter. Wie groß ist die Höhe des Bildes?

169. Innerhalb der Brennweite dieser Linse befinde sich ein halb über halb unter der Axe liegender Pfeil von 1 Centimeter Höhe, dessen Mitte um 2 Centimeter von der Mitte der Linse entfernt ist (vergleiche Fig. 300 auf Seite 256). Es soll das Bild des Pfeils construirt werden.

170. Nehmen wir als Einheit der Stromstärke diejenige, welche an der Tangentenbussole eine Ablenkung von 45° hervorbringt, wie groß ist alsdann die Stromstärke, welche den Ablenkungswinkeln 10°, 20°, 30°, 40°, 50°, 60°, 70°, 80° und 85° entspricht? Zu §. 219

171. Welche Ablenkung wird bei Zugrundelegung der in der vorigen Aufgabe definirten Stromeinheit ein Strom hervorbringen, dessen Stromstärke $^1/_2$, 2, 5, 10, 20 ist?

Zu §. 221

172. Sechs Zinkkohlenbecher sind zur Säule verbunden. Nach den in §. 224 des Grundrisses definirten Einheiten sei die elektromotorische Kraft eines einzelnen Bechers 840, der wesentliche Leitungswiderstand für jeden Becher sei gleich 12 und der Leitungswiderstand des gesammten Schließungsbogens sei 40. Wie groß ist die Stromstärke, welche der Apparat unter diesen Umständen liefert?

173. Ein einzelner Becher von der in der Aufgabe 172 besprochenen Art ist durch einen Schließungsbogen geschlossen, dessen Leitungswiderstand gleich 6 ist; wie groß ist die Stromstärke?

174. Eine Säule von 10 solchen Bechern und eine Säule von 50 Bechern wird durch denselben Schließungsbogen geschlossen, dessen Leitungswiderstand gleich 6 ist; wie groß ist in diesen beiden Fällen die Stromstärke?

175. Welche Stromstärke wird eine Säule von 1, von 10, von 50 Zinkkohlenbechern erzeugen, wenn der Leitungswiderstand im Schließungsbogen gleich 400 ist?

176. Dieselben Aufgaben 172 bis 175 unter der Voraussetzung zu lösen, daß Daniell'sche Becher an die Stelle der Zinkkohlenbecher gesetzt werden und die elektromotorische Kraft e eines solchen Bechers gleich 470, sein wesentlicher Leitungswiderstand aber gleich 20 ist?

Zu §. 222

Nehmen wir den elektrischen Leitungswiderstand eines Kupferdrahtes von 1 Meter Länge und 1 Millimeter Durchmesser zur Einheit, so hat man für den Leitungswiderstand W irgend eines anderen Metalldrahtes von der Länge l (in Metern ausgedrückt) und dem Durchmesser d (in Millimetern ausgedrückt)

$$W = n \frac{l}{d^2},$$

wenn n den specifischen Leitungswiderstand des Metalls bezeichnet, aus welchem der Draht gefertigt ist.

177. Wie groß ist der Leitungswiderstand eines 50 Meter langen und 3 Millimeter dicken Eisendrahtes?

178. Wie groß ist der Leitungswiderstand eines 20000 Meter langen Kupferdrahtes von 2,5 Millimeter Durchmesser?

179. Wie dick müßte man einen Eisendraht machen, wenn er bei gleicher Länge den gleichen Leitungswiderstand haben soll, wie der in der vorigen Aufgabe besprochene Kupferdraht?

180. Wie lang müßte ein Neusilberdraht von 0,75 Millimeter Durchmesser sein, wenn sein elektrischer Leitungswiderstand gleich dem des Kupferdrahtes sein sollte, welcher in der 178. Aufgabe besprochenen wurde?

181. Um den Leitungswiderstand s einer Magnetisirungsspirale durch den Versuch zu bestimmen, wurde in folgender Weise verfahren:

a. Sechs große Zinkkohlenbecher wurden zu einem einzigen Plattenpaare verbunden und durch eine etwas lange Leitung von dickem Kupferdraht mit der Tangentenbussole (deren Reductionsfactor = 70) verbunden. Der Ausschlag der Tangentenbussole war 53°.

b. Als nun in den Schließungsbogen ein Draht eingeschaltet wurde, dessen Leitungswiderstand gleich 50 war, sank die Ablenkung auf 11,5°.

c. Nach Entfernung des Leitungswiderstandes 50 wurde die Magnetisirungsspirale eingeschaltet und nun stellte sich die Nadel der Tangentenbussole auf 20°.

Es sind nun folgende Fragen zu beantworten:

α. Wie groß ist der Leitungswiderstand L des Elektromotors sammt der Kupferdrahtleitung, welche ihn mit der Tangentenbussole verbindet?

β. Wie groß ist der Leitungswiderstand s der Magnetisirungsspirale?

182. Ein zweiter Versuch zur Bestimmung des Leitungswiderstandes derselben Magnetisirungsspirale wurde in der Weise angestellt, daß die erwähnten sechs Zinkkohlenbecher zur Säule combinirt wurden. Als die Säule nur durch die Kupferdrahtleitung mit der Tangentenbussole verbunden wurde, war der Ausschlag 63°; durch Einschaltung des Leitungswiderstandes 50 sank er auf 39°; als aber statt des Leitungswiderstandes 50 die Magnetisirungsspirale eingeschaltet wurde, ergab sich die Ablenkung 48°. Es ist nun die Frage

α. Wie groß ist der Leitungswiderstand L' der Säule sammt der Kupferdrahtleitung, welche sie mit der Bussole verbindet?

β. Wie groß ist der Leitungswiderstand s der Magnetisirungsspirale?

Der Werth von s, wie er sich als Resultat der Aufgabe 182 herausstellt, wird mit dem aus 181 erhaltenen nicht ganz übereinstimmen. Der wahrscheinlichere Werth des fraglichen Leitungswiderstandes ist das Mittel aus den beiden für s erhaltenen Werthen.

183. Bezeichnen wir mit l den Leitungswiderstand der Drahtleitung, welche den Elektromotor mit der Tangentenbussole verbindet, mit r den Leitungswiderstand eines Bechers, so haben wir für den in der Aufgabe 181 betrachteten Leitungswiderstand L

$$L = l + \frac{r}{6},$$

für den in der Aufgabe 182 vorkommenden Widerstand L' aber haben wir

$$L' = l + 6r.$$

Wie groß ergeben sich l und r, wenn man für L und L' die oben berechneten Zahlenwerthe einführt?

184. In den Schließungsbogen einer Säule von 8 Bunsen'schen Bechern wurde gleichzeitig eine Tangentenbussole und ein Voltameter eingeschaltet. Der Strom brachte an der Tangentenbussole eine Ablenkung von 24,8 Graden hervor, während in 1 Minute 35 Kubikcentimeter Knallgas im Voltameter entwickelt wurden. Welches ist der Reductionsfactor der Tangentenbussole, d. h. mit welchem Factor muß man die trigonometrische Tangente des Ablenkungswinkels

Zu §. 24

multipliciren, um die in Kubikcentimetern ausgedrückte Gasmenge zu erhalten, welche der entsprechende Strom in 1 Minute liefert?

185. Zur Bestimmung des Reductionsfactors der eben besprochenen Tangentenbussole wurden statt eines einzigen eine Reihe von Versuchen gemacht, bei welchen als Rheomotor (Stromerreger) eine aus Bunsen'schen Bechern gebildete Säule angewendet wurde. Die Resultate dieser Versuchsreihe sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

Zahl der Becher.	Ablenkung.	Entwickelte Gasmenge in 1 Minute.
12	28,5	41,7
8	24,8	35,0
6	22,0	30,8
4	18,75	26,0
3	13,75	18,7
2	5,9	7,9

Wie groß ist nach jedem dieser Versuche der Reductionsfactor der Tangentenbussole? Welches ist der Mittelwerth dieses Reductionsfactors?

Zu §. 241

186. Welcher Grad der Reaumur'schen Scale entspricht dem 23. Grade der Celsius'schen?

187. Welches ist die Temperatur von 78° C. nach dem Fahrenheit'schen Thermometer?

188. Wie viel Grad Celsius sind 61° R.?

189. Die Temperatur von 93° Fahrenheit nach der Celsius'schen Scale auszudrücken.

190. In §. 241 sind zwei Gleichungen entwickelt worden, welche die Beziehungen zwischen der Celsius'schen und Fahrenheit'schen Scale angeben. In gleicher Weise soll nun eine Formel entwickelt werden, nach welcher man die Temperaturangaben der Reaumur'schen Scale auf die Fahrenheit'sche, und eine zweite, nach welcher man die Temperaturangaben der Fahrenheit'schen Scale auf die Reaumur'sche reduciren kann.

191. Welcher Grad der Reaumur'schen Scale entspricht der Temperatur von 105° Fahrenheit?

192. Welcher Grad der Fahrenheit'schen Scale entspricht der Temperatur — 12° R.?

193. Für welche Temperatur fallen die Angaben des Celsius'schen und des Fahrenheit'schen Thermometers zusammen?

194. Für welche Temperatur fallen die Angaben des Reaumur'schen und des Fahrenheit'schen Thermometers zusammen?

195. Eine eiserne Gitterbrücke hat bei 0° eine Länge von 200 Fuß; wie lang wird sie sein, wenn sie im Sommer durch den Einfluß der Sonnenstrahlen auf + 40° C. erwärmt wird? Zu §. 242

196. Wie lang ist dieselbe Brücke bei einer Temperatur von — 20° C.

197. Ein Messingstab hat sich bei einer Temperaturerhöhung von 0 bis 90° C. um 2 Millimeter ausgedehnt; wie groß war seine Länge bei 0°?

198. Ein Kupferstab, welcher bei 0° 1,5 Meter lang war, hat sich bei einer Temperaturerhöhung von 100° C. um 2,6 Millimeter ausgedehnt; wie groß ist demnach der Ausdehnungs-Coëfficient des Kupfers?

199. Bezeichnen wir die Länge, welche ein Körper bei 0° einnimmt, mit L_0, seine Länge bei t^0 mit L_t; wie groß ist dann sein Ausdehnungs-Coëfficient?

200. Ein Messingstab hat bei 15° C. eine Länge von 1,8 Meter; wie lang wird er bei 75° C. sein?

201. Ein Eisenstab hat bei — 20° C. eine Länge von 15 Fuß; wie lang wird er bei + 36° C. sein?

202. Es sei L_t die Länge eines Stabes bei t^0, a der Ausdehnungs-Coëfficient der Substanz; wie groß ist seine Länge L bei einer Temperatur von τ^0?

203. Wie groß ist der kubische Ausdehnungs-Coëfficient für die in der Tabelle auf Seite 446 aufgeführten Körper? Die erhaltenen Resultate sind gleichfalls tabellarisch zusammenzustellen. Zu §. 243

204. Ein Hohlwürfel von Zinkblech hat bei 0° einen Kubikinhalt von 1 badischem Kubikfuß oder 27 Kubikdecimetern; wie groß wird der Rauminhalt dieses Würfels bei 32° C. sein?

205. Ein Glasgefäß mit engem Halse faßt bei 0° bis zu einer Marke am Halse genau 1000 Kubikcentimeter; welches ist der Rauminhalt dieses Gefäßes bei 100° C.?

206. Bei 0° ist das specifische Gewicht des Bleies 11,352; wie groß wird das specifische Gewicht des Bleies bei 100° C. sein?

207. Durch einen directen Versuch (s. Lehrbuch II, Seite 489, 5 Aufl.) fand Kopp den kubischen Ausdehnungs-Coëfficienten für weiches Natronglas gleich 0,000026, für hartes Kaliglas aber gleich 0,000021; wie groß wäre demnach der Längenausdehnungs-Coëfficient dieser Glassorten?

208. Nach Kopp's Versuchen ist der kubische Ausdehnungs-Coëfficient des Quarzes gleich 0,000042; wie groß ist der Längenausdehnungs-Coëfficient dieses Minerals?

209. Das Quecksilber, welches ein Glasgefäß von der Form Fig. 579 (a. f. S.) bei 0° vollständig bis zur Spitze ausfüllt, wiegt 264 Gramm. Bis auf 100° C. erwärmt, tritt etwas Quecksilber tropfenweise aus der Spitze aus. Nachdem der Apparat so lange der Temperatur von 100° C. ausgesetzt war, daß das Ausfließen von Quecksilber aufgehört hat, daß man also überzeugt sein konnte, alles im Gefäße eingeschlossene Quecksilber sei auf 100° C. erwärmt, wurde abermals Zu §. 244

gewogen und nun fand man, daß das Gewicht des eingeschlossenen Queckſilbers nur noch 260 Gramm beträgt. Welches iſt der Coëfficient der ſcheinbaren Ausdehnung des Queckſilbers? Wie groß iſt die abſolute Ausdehnung des Queckſilbers? (Das Gefäß beſtand aus weichem Natronglas.)

Fig. 579.

210. Das Quantum Benzol, welches ein Glasgefäß von der Form Fig. 502 auf Seite 449 bei 0° bis zur Marke *a* füllt, wiegt 19,76 Gramm. Das Gefäß wird ſammt ſeinem Inhalt auf 60,5 erwärmt, alle Flüſſigkeit entfernt, welche über *a* ſteht, und nun ergiebt eine abermalige Wägung, daß die noch im Gefäß enthaltene Flüſſigkeit 18,47 Gramm wiegt. Welches iſt der Ausdehnungs-Coëfficient für die ſcheinbare und welches für die abſolute Ausdehnung des Benzols?

211. Welchen Raum nimmt bei 92° C. das Oelquantum ein, welches bei 0° C. genau 1 Liter füllt? (Ausdehnungs-Coëfficient 0,001.)

212. Man kauft bei — 10° C. 1 Liter Weingeiſt. Welchen Raum nimmt derſelbe bei + 32° C. ein? (Ausdehnungs-Coëfficient 0,001.)

213. Bei 0° iſt das ſpecifiſche Gewicht des abſoluten Alkohols gleich 0,793; wie groß iſt es bei 20° C.?

214. Bei einer Temperatur von 25° C. hat man die Barometerhöhe gleich 752 Millimeter gefunden. Dieſe Barometerhöhe iſt auf 0° zu reduciren, d. h. es iſt zu berechnen, wie hoch die Barometerſäule bei gleichem Luftdruck ſein würde, wenn ſie auf 0° erkaltet ſein würde?

Zu §. 245 215. Ein gegebenes Quantum Leuchtgas nimmt bei 0° einen Raum von 46 Kubikfußen ein. Welchen Raum wird dieſe Gasmaſſe bei unverändertem Druck einnehmen, wenn ihre Temperatur auf 23° C. geſteigert wird?

216. In einem Voltameter hat man bei 18° C. 73 Kubikcentimeter Knallgas aufgefangen. Wie groß wird bei unverändertem Druck das Volumen dieſer Gasmenge ſein, wenn ſie auf 0° erkaltet wird?

217. Das ſpecifiſche Gewicht der Luft bei 0° und bei einem Barometerſtand von 760^{mm} iſt 0,001293 (Waſſer gleich 1 geſetzt). Wie groß iſt das ſpecifiſche Gewicht der Luft bei unverändertem Druck und einer Temperatur von 93° C.?

Zu §. 247 218. In eine Waſſermaſſe von 461,3 Gramm, deren Temperatur 16,86° iſt, werden 43,8 Gramm Schnee von 0° geworfen. Nach vollſtändiger Schmelzung des Schnees iſt die Temperatur des Waſſers auf 8,53° erniedrigt. Wie groß ergiebt ſich nach dieſem Verſuch der Werth für die latente Wärme des Waſſers?

219. 50,45 Gramm Schnee von — 0,32° C. werden in 462,2 Gramm Waſſer von 16,1° C. geworfen. Nach vollendeter Schmelzung findet man die Temperatur des Waſſers gleich 6,78° C. Wie groß iſt nach dieſem Verſuch die latente Wärme des Waſſers?

220. Ein 92^{gr} ſchweres Stück Eis von 0° wird in eine 1200^{gr} ſchwere

Wassermasse von 23° C. geworfen. Welches ist die Temperatur des Wassers nach der Schmelzung?

221. In eine Wassermasse von 2000^{gr}, welche eine Temperatur von 25° C. hat, werden 1000^{gr} Eisstücke von 0° geworfen. Wie viel Eis wird geschmolzen sein, bis das Wasser auf 0° erkaltet ist?

NB. Bei Lösung der Aufgaben 220 und 221 soll die latente Wärme des Wassers gleich 79 angenommen werden und vorausgesetzt sein, daß das Wasser nach außen hin weder Wärme abgiebt, noch solche von außen empfängt.

222. Welches ist nach der Gleichung auf Seite 464 die Temperatur, bei welcher das Maximum der Spannkraft des Wasserdampfes gleich ist $^1/_4$, $^1/_2$, $^3/_4$, 1, 3, 5, 10, 20, 30 Atmosphären? Zu §. 252

223. Welches ist nach derselben Gleichung die Spannkraft des gesättigten Wasserdampfes für eine Temperatur von 25, 55, 95, 120, 150 und 180 Grad Celsius?

224. Nach den auf Seite 466 gemachten Angaben soll die Beziehung zwischen Spannkraft (p) und Volumen (V) des gesättigten Wasserdampfes graphisch dargestellt werden.

Um diese Aufgabe zu lösen, markire man auf einer horizontalen Linie die Punkte, welche von einer beliebigen Stelle an gemessen 1, 2, 4 und 10 Centimeter nach der Rechten liegen und errichte in jedem dieser Punkte ein Perpendikel. Auf dem Perpendikel von 1 trage man die Länge 170^{mm} (dem Volumen 1700 entsprechend), in den Punkten 2, 4 und 10 aber trage man die Längen 89,7, 47,5 und 20,7 (dem Volumen 897, 475 und 207 entsprechend) auf. Die Curve, welche die Gipfelpunkte der so aufgetragenen Ordinaten verbindet, stellt alsdann den fraglichen Zusammenhang graphisch dar. Diese Zeichnung ist mit möglichster Sorgfalt auszuführen.

225. Wie viel Liter gesättigten Dampfes von 3, 5, 6, 7, 8 und 9 Atmosphären Spannkraft liefert 1 Liter Wasser?

Zur Lösung dieser Aufgabe dient die nach der vorigen Aufgabe construirte Figur. Man hat nämlich nur in den Punkten 3, 5, 6, 7, 8 und 9 der Abscissenaxe Perpendikel zu errichten und zu messen, wie viel Millimeter die Länge der Ordinaten der Curve für diese Abscissenpunkte beträgt. Die so erhaltenen Zahlen, welche tabellarisch zusammenzustellen sind, geben die Antwort auf obige Frage. Die Lösung dieser Aufgabe ist mit Sorgfalt auszuführen, weil von den Resultaten derselben später Gebrauch gemacht wird.

226. Für welche Temperaturen würde nach dem Dalton'schen Gesetze die Spannkraft des Aetherdampfes gleich dem Druck von 2, 4, 8 Atmosphären?

227. Dieselbe Aufgabe zu lösen für schweflige Säure, Schwefelkohlenstoff und Terpentinöl.

NB. Die Siedpunkte dieser Flüssigkeiten, welche man zur Lösung dieser Aufgabe kennen muß, findet man in §. 259 Seite 485.

Zu §. 257 228. Wie groß ist nach Gleichung 2) die absolute mechanische Arbeit, welche 1^{kgr} Wasserdampf an den Kolben einer Dampfmaschine übertragen kann, wenn p gleich dem Druck von 3, 5, 8 Atmosphären ist.

(NB. Der Werth von $p\,V$ ergiebt sich aus der Auflösung der Aufgabe 225.)

229. Der Kolben einer Dampfmaschine hat 3 Decimeter Durchmesser, der Kolbenhub ist 9 Decimeter. Wenn nun der Kolben in 3 Secunden einen Auf- und einen Niedergang vollendet und wenn die Spannkraft des Dampfes, welche ihn treibt, gleich dem Druck von 4 Atmosphären ist, wie viel Meterkilogramm nutzbarer Arbeit $\left(\text{gleich } \frac{E}{2} \text{ angenommen}\right)$ vollbringt dann die Maschine in 1 Minute? Wie viel Pferdekräften ist die Maschine unter den gegebenen Umständen gleichzusetzen?

230. Wie viel Kilogramm Wasserdampf consumirt eine Dampfmaschine von 10 Pferdekräften (nutzbarer Arbeit) während einer Stunde, wenn der Dampf, welcher den Kolben treibt, 3, 5, 8 Atmosphären Spannkraft hat?

Zu §. 261 231. In einem Kühlfaß von der Form Fig. 530 Seite 489 sind 60 Kubikdecimeter Kühlwasser enthalten, welches zu Anfang der Operation eine Temperatur von 8° C. hatte. In der Blase B befindet sich Wasser, welches überdestillirt werden soll. Nachdem aus dem Kühlrohre bei O 2 Liter destillirten Wassers abgeflossen sind, findet man, daß die Temperatur des Kühlwassers auf 28,5° C. gestiegen ist. Aus diesen Daten ist die latente Wärme des Wasserdampfes zu berechnen.

232. In demselben Apparate, welcher in der vorigen Aufgabe besprochen wurde, wird unter sonst ganz gleichen Umständen aus der Blase B Weingeist destillirt. Nachdem 3 Kilogramm Weingeist überdestillirt sind, ist die Temperatur der 60 Kubikdecimeter Kühlwasser von 8° C. auf 22° C. gestiegen. Wie groß ist nach diesem Versuche die latente Wärme des Weingeistdampfes?

233. Derselbe Versuch wird mit Aether wiederholt und man findet, daß die Temperatur der 60 Kilogramm Kühlwasser von 8° C. auf 17° C. gestiegen ist, nachdem 5 Kilogramm Aether überdestillirt sind. Wie groß ist danach die latente Wärme des Aetherdampfes?

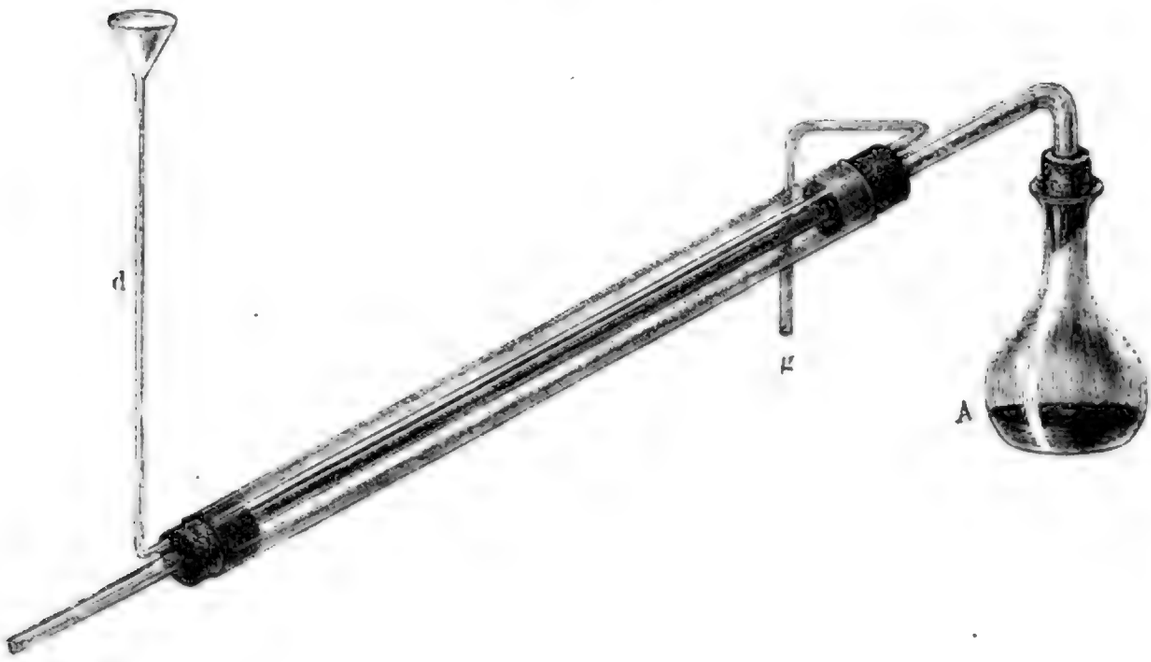
(NB. Bei Auflösung dieser drei Aufgaben soll abgesehen werden von der Wärme, welche das Kühlwasser an die Umgebung verliert oder von der Umgebung etwa aufnimmt.

Bei den beiden letzten Aufgaben muß noch in Rechnung gebracht werden, daß die specifische Wärme des Alkohols und des Aethers geringer ist als die des Wassers. Wir wollen den Werth für die specifische Wärme des Aethers und des Alkohols gleich 0,5 setzen, also annehmen, daß die Wärmemenge, welche 1 Kilogramm Alkohol oder Aether bei einer Temperaturerniedrigung von 1° C. verliert, gerade hinreicht, um die Temperatur von 1 Kilogramm Wasser um 0,5° C. zu erhöhen.)

234. In einem Kühlapparate von der in Fig. 580 dargestellten Einrichtung sind 420 Gramm Kühlwasser von 10° C. enthalten. Wie hoch wird

die Temperatur dieses Kühlwassers gestiegen sein, nachdem man a. 15 Gramm Wasser, oder b. 25 Gramm Weingeist, oder c. 35 Gramm Aether aus dem Gefäße *A* überdestillirt hat?

Fig. 580.



235. Wie viel Wärmeeinheiten sind nöthig, um die Temperatur von 793 Gramm Queckſilber um 45° C. zu erhöhen? Zu §. 264

236. Wie viel Wärmeeinheiten sind erforderlich, um 60 Kilogramm Eiſen von 10° C. auf 150° C. zu erwärmen?

237. Wie viel Calorien müſſen einer Maſſe von 1523 Gramm Weingeiſt (ſpecif. Gewicht 0,833) zugeführt werden, wenn ſeine Temperatur von 15° C. bis auf 63° C. erhöht werden ſoll?

238. In 180 Gramm Waſſer von 19° C. werden einige Stückchen Eiſen eingetaucht, welche zuſammen 60 Gramm wiegen und welche auf 100° C. erwärmt waren. Nach vollſtändiger Ausgleichung der Temperatur findet man, daß die des Kühlwaſſers auf 22° C. geſtiegen iſt; wie groß wäre nach dieſem Verſuche die ſpecifiſche Wärme des Eiſens?

239. Um die ſpecifiſche Wärme des Queckſilbers zu ermitteln, wurden 80 Gramm dieſes Metalls auf 98° C. erwärmt, in 112 Gramm Waſſer von 10° C. gegoſſen, welches in einem Glaskolben enthalten war. Nach gehörigem Schütteln fand man, daß die Temperatur des Kühlwaſſers auf 12° C. geſtiegen war. Wie groß iſt nach dieſem Verſuch die ſpecifiſche Wärme des Queckſilbers? (Ohne Rückſicht auf die Wärmezunahme des Glasgefäßes zu nehmen.)

240. Um die ſpecifiſche Wärme des Benzols zu finden, wurde folgender Verſuch angeſtellt. 43,5 Gramm Benzol von 65° C. wurden in ein Kölbchen gegoſſen, welches 100 Gramm Waſſer von 8° C. enthielt. Nach tüchtigem Schütteln war die Temperatur der Miſchung 15,5° C. Aus dieſen Daten ſoll die ſpecifiſche Wärme des Benzols berechnet werden.

241. Es werden 250 Gramm Waſſer von 5° C. und 250 Gramm Terpentinöl von 50° C. zuſammengeſchüttelt. Welches wird die Temperatur des Gemenges ſein?

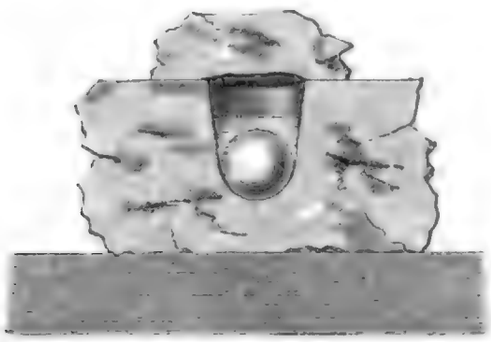
242. In einer Maſſe von 500 Gramm Waſſer von 10° C. wird eine 83 Gramm ſchwere, auf eine Temperatur von 340° C. erwärmte eiſerne Kugel eingetaucht. Wie hoch wird die Temperatur des Kühlwaſſers nach vollſtändiger Abkühlung der Kugel ſein?

243. Eine 200 Gramm ſchwere Platinkugel war in dem Feuer eines Ofens ſtark erhitzt und dann in einer Waſſermaſſe von 1000 Gramm abgelöſcht worden; in Folge davon ſtieg aber die Temperatur des Waſſers von 13° auf 20° C. Wie hoch war demnach die Temperatur der Platinkugel vor dem Eintauchen?

Zur Löſung dieſer Aufgabe muß natürlich die ſpecifiſche Wärme des Platins bekannt ſein.

244. Ein Eisblock von 0°, in welchen man eine Höhlung gemacht hat, ungefähr wie Fig. 581 zeigt, befindet ſich in einem Raume, deſſen Temperatur noch etwas unter 0° iſt, ſo daß ein Schmelzen des Eiſes durch den Einfluß der äußeren Umgebung nicht ſtattfinden kann. In dieſe Höhlung wird nun eine 200 Gramm ſchwere, auf 100° C. erwärmte eiſerne Kugel gelegt und dann ſogleich die Höhlung durch ein Eisſtück zugedeckt. Nachdem die Kugel auf 0° erkaltet iſt, findet ſich, daß 293 Gramm Eis geſchmolzen worden ſind. Wie groß iſt danach die ſpecifiſche Wärme des Eiſens?

Fig. 581.



Alphabetisches Inhaltsverzeichniß.

Seite

A.

Aberration, sphärische, der Hohlspiegel 235
— — der Linsen . . 250
— chromatische 269
Ablenkung der Magnetnadel durch den elektrischen Strom 393
Absorption der Gase 117
— der Wärmestrahlen . . . 499
Abstoßung, magnetische 322
— elektrische 337
Abweichung, magnetische 328
Accommodation 274
Accord 204
Achromatische Prismen 268
— Linsen 270
Adhäsion 57
Aequivalente 10
Aequator, magnetischer 331
Aether 12
Aggregatzustände 108
Akustik 177
Akustischer Nerv 216
Alkoholometer 78
Ampère's Statif 415
— Theorie des Magnetismus 418
Ansatzröhren, Einfluß derselben auf die Ausflußmenge 155
Anziehung, elektrische 337
— magnetische 321
Aräometer 74
— Nicholson's 74
Arbeit 141
Archimedisches Princip 70
Armaturen, magnetische 326
Astatische Nadel 396
— Stromleiter 416
Astronomisches Fernrohr 291
Atmosphäre 92
— Höhe derselben 534
— Zusammensetzung derselben 533

Seite

Atmosphärendruck 96
Atmosphärische Elektricität 569
— Feuchtigkeit 545
Atom 9
Atomistische Theorie 9
Atwood's Fallmaschine 125
Auftrieb 69
Auge 272
Ausdehnbarkeit 9
Ausdehnung 3
— cubische 448
— der Flüssigkeiten 449
— fester Körper 445
— gasförmiger Körper . . . 450
— unregelmäßige, des Wassers 450
Ausdehnungscoëfficient 446
Ausflußgesetze, der Flüssigkeiten . . 150
— der Gase 174
Ausflußgeschwindigkeit 150
Ausflußmenge 153
Auslader, elektrischer 359
— Henley's 359
Axen, der Hohlspiegel 233
— der Linsen 248
— optische 312
— secundäre 254

B.

Ballistische Curve 130
Barometer 95
Barometerprobe 107
Baroskop 116
Batterie, constante 375
— elektrische 358
— Wollaston's 374
Beaume's Aräometer 80
Becquerel'sche Säule 376
Beharrungsvermögen 4
Beugung des Lichtes 301

Digitized by Google

Seite

Bewegung, beschleunigte 123
— gleichförmige 121
Bilder der Converspiegel 240
— der Hohllinsen 257
— der Hohlspiegel 237
— der Sammellinsen 255
— ebener Spiegel 230
Blasebalg 171
Blasebalgharmonika 210
Bleiloth 5
Blitz 570
Blitzableiter 355
Blitzröhre 362
Blitztafel 362
Bodendruck 65
Bodentemperatur 530
Bodenventil 99
Bohnenberger's Elektroskop . . . 373
Brechung des Lichtes 242
— doppelte 311
Brechungsexponent 244
Brechungsgesetz 242
Brechungswinkel 243
Brennlinie 240
Brennpunkt der Hohlspiegel . . . 234
— der Sammellinsen 250
Brennweite 250
Brückenwage 48
Bunsen's Photometer 226
— Säule 376
Büschel, elektrische 362
Bussole 328

C.

Calmen 538
Calorie 454
Camera obscura 283
Capillarattraction 84
Capillarerscheinungen 83
Cartier's Aräometer 80
Centralbewegung 130
Centrifugalkraft 132
Centripetalkraft 131
Chemie 2
Chemische Wirkungen des Lichtes . 315
— — des galv. Stromes . . 379
Chromatische Aberration 269
Chromatische Tonleiter 205
Circularpolarisation 313
Cirrus 552
Cohäsionskraft 12
Communicirende Gefäße 63
Commutator 416
Compas 329
Compensationspendel 447
Complementärfarben 262
Composante 16
Compressionsmanometer 114
Compressionspumpe 109

Seite

Concavlinsen 248
Concavspiegel 233
Condensator, elektrischer 360
— bei Dampfmaschinen 475
Constante Säulen 375
Continentalklima 527
Contrastfarben 281
Converlinsen 248
Converspiegel 240
Cumulus 552
Cylindergebläse 172

D.

Dämmerung 561
Daguerreotypie 316
Dalton's Gesetz 466
Dampfbildung 457
Dampfelektrisirmaschine 349
Dampfkessel 467
Dampfmaschine 468
Daniell's Säule 376
Debuskop 231
Decimalwage 49
Declination, magnetische 328
Declinationsbussole 328
Dehnbarkeit 52
Densimeter 78
Destillation 488
Diamagnetismus 431
Diathermanität 501
Diatonische Tonleiter 204
Dichtigkeit 8
Dichtigkeitsmaximum des Wassers . 450
Differentialthermometer 497
Diffusion der Flüssigkeiten 88
— der Gase 119
— der Wärmestrahlen . . . 500
— des Lichtes 227
Digestor, Papinianischer 484
Dioptrik 242
Diosmose 89
Dispersion 267
Döbereiner's Zündmaschine 118
Doppelte Brechung 311
Doppeltsehen 275 278
Druckpumpe 100
Drucktelegraph 412
Dynamometer 53

E.

Ebene, schiefe 33
Echappement 141
Echo 194
Effect der Wasserräder 160
— — Dampfmaschinen 480
Effloresciren 85
Ei, elektrisches 363
Einfallsebene 228

Digitized by Google

Seite

Einfallsloth 228
Einfallswinkel 228
Elasticität 51
— der Flüssigkeiten 87
— der Luft 93
Elektricität 337
— gebundene 355
— positive und negative 340
— thierische 437
Elektrische Büschel 362
— Fische 437
— Flüssigkeiten 341
— Telegraphen 411
Elektrischer Geruch 364
Elektrischer Rückschlag 365
Elektrisches Licht 361
Elektrisirmaschine 346
Elektrochemische Theorie 388
Elektroden 382
Elektrolyse 382
Elektrolyte 382
Elektrolytisches Gesetz 390
Elektromagnete 409
Elektromotor 342
Elektromotorische Kraft 368
— Rheomotoren 373
Elektrophor 345
Elektroskop 342
— Bohnenberger's 373
Elektrotonischer Zustand 431
Elemente, chemische 10
— Volta'sche 370
Emanationstheorie 296
Emissionstheorie 296
Endosmose 88
Entladungsschlag 359
Erdfernrohr 292
Erdplatte 414
Erleuchtung, Intensität derselben . 224
Excentrische Scheibe 473
Expansionskraft 12
Expansionsmaschine 481
Extrastrom 426

F.

Fadenkreuz 292
Fallgesetz 123
Fallmaschine 125
Fallrinne 124
Fallröhre 109
Farben, complementäre 262
— dünner Blättchen 304
— einfache oder homogene . . . 259
— natürliche 262
— prismatische 259
— subjective oder physiologische . 281
Farbenzerstreuung 267
Federwage 52
Fernrohr 289
Fernsichtigkeit 274
Feste Körper 11
Festigkeit 53
Feuchtigkeit, atmosphärische . . . 545
Feuerkugeln 562
Feuerspritze 111
Flammen, farbige 264
Flaschenzug 22
Fliehkraft 132
Flugrad, elektrisches 365
Fluorescenz 264
Flüssige Körper 11
Fluida, elektrische 341
— magnetische 323
Focaldistanz der Hohlspiegel . . . 234
— der Linsen 250
Focus der Hohlspiegel 234
— der Linsen 250
Fortschreitende Schwingungen . . . 179
Franklin'sche Tafel 355
Fraunhofer'sche Linien 268
Freiwerden der Wärme 456
Fundamentalabstand 443
Fundamentalversuch, Volta's . . . 367
— Oersted's 393
Funken, elektrischer 344
Fußpfund 143

G.

Galiläi's Fallrinne 124
— Fernrohr 289
Galvanische Batterie 373
Galvanische Vergoldung 388
Galvanismus 366
Galvanographie 387
Galvanometer 395
Galvanoplastik 386
Gase 11
— permanente 460
Gasometer 168
Gebläse 170
Gebundene Elektricität 355
— Wärme 454
Gefäßbarometer 96
Gehörnerv 216
Gehörorgan 215
Geruch, elektrischer 364
Gesättigter Dampf 460
Geschwindigkeit der beschleunigten Bewegung 122
Geschwindigkeit der gleichförmigen Bewegung 122
Geschwindigkeit des Lichtes 221
— des Schalles 192
Gesichtsorgan 271
Gewicht, absolutes 5
— specifisches 7
Gewichtsverlust untergetauchter Körper 71
Glaselektricität 340

Seite
Glasharmonika 208
Gleichgewicht 41
— indifferentes 42
— labiles oder veränderliches . 42
— stabiles oder festes 42
Gleitende Reibung 41
Glühen, galvanisches 379
Goldblattelektrometer 343
Gränzwinkel 244
Gramm 5
Graupelregen 558
Grove'sche Säule 376
Grundstoffe 10
Grundton 202
Gyrotrop 416

H.

Haarröhrchen 84
Hagel 558
Hahnenluftpumpe 107
Halbkugeln, Magdeburgische . . . 108
Halbschatten 222
Hammer, elektromagnetischer . . . 424
Harzelektricität 340
Haspel 30
Hauptspirale 422
Hebel 23
— einarmiger 26
Hebelarm 25
Heber 101
Heberbarometer 96
Heliostat 230
Hemmung 141
Henley's Auslader 359
Heronsball 110
Heronsbrunnen 112
Höfe 565
Hörrohr 195
Hochdruckmaschine 468
Hohllinsen 253
Hohlspiegel 233
Holländisches Fernrohr 289
Hufeisenmagnet 325
Hydraulische Presse 61
Hydroelektrische Ströme 373
Hydrostatik 60
Hygrometer 545
Hygroskopische Körper 118
Hypomochlion 25

J.

Jahreszeiten 515
Imponderabilien 12
Inclination, magnetische 329
Inclinationsnadel 330
Inclinatorium 330
Induction, elektrische 420
Intensität des Erdmagnetismus . . 332
— der Erleuchtung 224
Intensität der Töne 192
Interferenz der Lichtwellen 299
Interferenzerscheinungen 296
Intervall 204
Irrlichter 566
Isochimenen 526
Isoclinische
Isodynamische } Linien 576
Isogonische
Isolatoren, elektrische 339
Isolirschemel 339
Isotheren 526
Isothermen 523

K.

Kälte durch Verdampfung 496
Kältemischungen 455
Kaleidoskop 231
Katoptrik 227
Kaustische Linien 240
Kehlkopf 213
Keil 38
Kernschatten 222
Kilogramm 6
Kilogrammometer 143
Kitten 57
Klangfiguren 187
Knotenlinien 188
Knotenpunkte 186
Körper 1
Kohlenlicht, elektrisches 379
Kolbenrohr 99
Kräfte 11
Kreuzungspunkt 278
Kryophor 485
Krystallisation 57
Küstenklima 523
Kurzsichtigkeit 271

L.

Landwind 537
Latente Wärme der Dämpfe . . . 486
— — der Flüssigkeiten 454
Lebendige Kraft 145
— — der Wassergefälle . . . 158
Leere, Toricelli's 95
Leiter der Elektricität 338
— der Wärme 504
Leitungswiderstand, elektrischer, der Flüssigkeiten 406
Leitungswiderstand, elektrischer, der Metalle 405
Leimen 57
Leydener Flasche 357
Licht 221
— Brechung desselben 242
— elektrisches 379
— — im leeren Raume . . . 363
— homogenes 260

Seite
Licht, Reflexion desselben 227
Lichtäther 296
Lichtbogen, galvanischer 379
Lichtwellen, Länge derselben 303
Linsen 247
— achromatische 270
Linsenbilder 255
Locomotive 477
Löthen 57
Loupe 284
Luft 92
— Druck derselben 93
— Elasticität derselben 93
— Schwere derselben 92
Luftballon 115
Luftpumpe 105
Luftwellen, stehende 196

M.

Magdeburger Halbkugeln 108
Magnete, künstliche 321
— natürliche 321
Magneteisenstein 321
Magnetische Armaturen 326
— Curven 576
— Flüssigkeiten 323
— Polarität 322
— Wirkungen des Stromes . . 393
Magnetismus 321
Magnetnadel 327
Manometer 113
Mariotte'sches Gesetz 102
Masse 6
Massentheilchen 9
Menisken 248
Meridian, magnetischer 328
Metacentrum 73
Meteorsteine 567
Meter 6
Mikroskop, einfaches 285
— zusammengesetztes 288
Mikrometerschrauben 38
Molekül 9
Molekularkräfte 51
Moment, statisches 25
Monochord 207
Morse's Drucktelegraph 412
Motoren, elektromagnetische . . . 410
Moussons 540
Multiplicator 395
Mundharmonika 210
Musikalische Töne 203
Muskelstrom 438
Myopie 275

N.

Nachbilder 281
Naturgeschichte 2
Naturgesetz 1
Naturlehre 2
Nebel 551
Nebensonnen 565
Nebenspirale 422
Nebenstrom 422
Negative Elektricität 340
Netzhaut 272
Newton'sche Ringe 304
Nicholson's Aräometer 74
Nicol'sches Prisma 314
Niederdruckmaschine 474
Nobili'sche Farbenringe 385
Nordlicht 579
Nordpol, magnetischer 322

O.

Oberschlächtige Räder 161
Obertöne 201
Objectiv des Fernrohrs 289
— des Mikroskops 288
Octave 203
Ocular, astronomisches 291
— des Fernrohrs 289
— des Mikroskops 288
— terrestrisches 288
Ohm'sches Gesetz 401
Optik 219
Optometer 275
Orgelpfeifen 200
Ozon 361

P.

Papinianischer Topf 464, 484
Parallelogramm der Kräfte . . . 16
Passatwind 538
Pendel, einfaches 134
— elektrisches 338
— zusammengesetztes 138
Pendelgesetze 135
Pendeluhr 140
Permanente Gase 460
Perpetuum mobile, elektrisches . . 373
Phenakistoskop 280
Phosphorescenz 267
Photographie 316
Photometer 225
Physik 2
Pistole, elektrische 349
Pneumatisches Feuerzeug 495
Poggendorff's Spiegelapparat . . . 230
Polarisation des Lichtes 306
— galvanische 397
Polarisationsapparat 307
Polarisationsebene 308
Polarisationswinkel 309
Polarität, magnetische 322
Polarlicht 581

Seite
Pole, magnetische 322
— — der Erde 330
— der Volta'schen Säule . 372. 378
Poncelet'sche Räder 160
Porosität 9
Positive Elektricität 340
Presbyopie 275
Presse, hydraulische 61
Prismatische Farben 259
Prismen 245
— achromatische 268
Psychrometer 548
Pumpen 98

Q.

Quart 203
Quellentemperatur 530
Quint 203

R.

Räderwerke 31
Reflexion der Wärmestrahlen . . 500
— des Lichtes 227
— des Schalles 193
— totale 245
Reflexionsebene 228
Reflexionswinkel 228
Regen 554
Regenbogen 562
Regenbogenfarben 259
Regenmesser 554
Regulator der Dampfmaschinen . . 474
— für Gebläse 173
Reibung, gleitende 146
— wälzende 148
— Nutzen und Anwendung ders. 149
Reibungscoëfficient 147
Reibungselektricität 337
Resonanz 211
Resonanzboden 212
Resultirende 16
Retina 272
Rheomotoren 373
Ringe, Newton'sche 304
— Nobili'sche 385
Rolle 20
Rotation, elektro-magnetische . . 419
Rotationsmaschine, magneto-elektrische 429
Rückschlag, elektrischer 365
Ruhmkorff's Inductionsapparat . . 425
Rumford's Photometer 225

S.

Saccharometer 314
Säule, Becquerel'sche 376
— Bunsen'sche 376
— constante 375
— Daniell'sche 376
Seite
Säule, Grove'sche 376
— trockne 378
— Volta'sche 372
Säuren 389
Saiten 206
Salzbasen 389
Sammelbilder der Concavspiegel . . 237
— der Converlinsen 256
Sammellinsen 248
Sammelspiegel 233
Saugen 156
Saugpumpe 98
Saugrohr 99
Scalenaräometer 76
Schallgeschwindigkeit 192
Schallwellen 190
Schatten 221
Schiefe Ebene 33
Schmelzpunkt 453
Schnee 557
Schneegränze 531
Schnellwage 26
Schottische Turbine 165
Schraube 35
Schraubengang 35
Schraubenmutter 36
Schraubenpresse 37
Schraubenspindel 36
Schwere 4
Schwerpunkt 39
Schwimmen 72
Schwingungen, fortschreitende . . 179
— stehende 179
Schwingungspunkt 138
Schwingungszahl musikalischer Töne 205
Schwungkraft 132
Schwungmaschine 133
Seewind 537
Secundäre Axen 254
Segner's Wasserrad 158
Seilwellen 184
Seitendruck 68
— bewegter Flüssigkeiten . . . 157
Seitenkräfte 16
Sicherheitsröhre 114
Sicherheitsventil 114
Siedepunkte 485
— Abhängigkeit vom Druck . . 482
Sinsteden's Inductionsapparat . . . 425
Solenoid 416
Sonnenmikroskop 287
Spannkraft der Dämpfe 458
— der Luft 93
— der Wasserdämpfe 463
Specifisches Gewicht 7
Specifische Wärme 492
Spectralanalyse 264
Spectrum 258
Sphärische Aberration der Hohlspiegel 235
— — der Linsen 250

Seite
Spiegel, ebene 229
— gekrümmte 232
— sphärische u. parabolische . . 232
Spiegelapparat, Poggendorff's . . . 230
Spiegelmetall 233
Spiegelsextant 230
Spiegeltelescop 294
Spiegelungsgesetz 228
Spitzen, elektrische Wirkung ders. . 354
Sprachrohr 195
Sprödigkeit 52
Stromwender 416
Stabilität 44
Standfernrohr 292
Statisches Moment 25
Stechheber 101
Stehende Luftwellen 196
— Schwingungen 179
Stereoskop 279
Sternschnuppen 567
Steuerung der Dampfmaschinen . 472
Stimmbänder 213
Stimmgabel 208
Stimmorgan 213
Störungen, magnetische 332
Strahlende Wärme 496
Stroboskopische Scheibe 280
Ströme, galvanische 372
— hydroelektrische 373
— thermoelektrische 434
Stürme 542
Südpol, magnetischer 322

T.

Tabelle specifischer Gewichte . . . 586
Tangentenbussole 398
Tangentialgeschwindigkeit 131
Telegraphie, elektrische 411
Temperatur 441
— musikalische 205
Terrestrische Fernrohre 293
Terz 203
Thau 550
Theaterperspectiv 291
Theilbarkeit 9
Thermoelektricität 435
Thermoelektrische Elemente . . . 434
— Säulen 436
— Ströme 434
Thermometer 441
Thermometerscalen 443
Thermometrograph 520
Thermomultiplicator 498
Thierische Elektricität 437
— Wärme 508
Thonzellen 376
Toise 6
Ton 192
Tonleiter 204
Seite
Toricelli's Leere 95
— Theorem 150
Tornados 543
Torsionselasticität 53
Totale Reflexion 245
Trägheit 4
Tralle's Alkoholometer 79
Trockene Säule 373
Trogapparat 374
Tromben 543
Tropfenbildung 81
Turbinen 163
Turmalinplatten 310

U.

Uebersetzung 31
Undulationstheorie 296
Undurchdringlichkeit 3
Unterbrechungsrad 424
Unterschlächtige Räder 159

V.

Variationen, magnetische 331
Ventilluftpumpen 107
Verbrennungswärme 507
Vergoldung, galvanische 388
Versilberung, galvanische 388
Vertheilung, elektrische 341
Verticale 5
Vibrationsbewegung 179
Vibrationstheorie 296
Voltameter 381
Volta's Fundamentalversuch 367
— Säule 370
Volumeter 77

W.

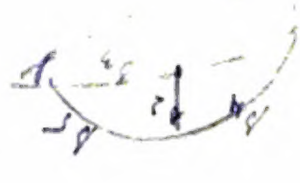
Wage 45
Wälzende Reibung 148
Wärme 441
— gebundene oder latente . . . 454
Wärmecapacität 493
Wärmeeinheit 454
Wärmeentwickelung durch Gasabsorption 118
Wärmeleitung 504
Wärmequellen 507
Wärmestoff 12
Wärmestrahlung 496
Wärmestrahlungsvermögen 499
Wasserdämpfe 462
Wassergehalt der Luft 549
Wasserhosen 543
Wasserräder, horizontale 163
— verticale 159
Wassersäulenmaschine 165
Wasserwage 64
Wasserwellen 181

	Seite
Wasserzersetzung, galvanische	379
Weitsichtigkeit	274
Wellenlänge	184
— der Lichtstrahlen	304
— der Töne	203
Windbüchse	110
Winde	536
— Entstehung derselben	537
— in höheren Breiten	540
Windkessel	111
Windmesser	173
Winkelspiegel	231
Wolken	552
Wollaston's Batterie	374
Wunderscheibe	280
Wurfbewegung	129

Z.

	Seite
Zamboni's Säule	373
Zauberlaterne	288
Zerlegung der Kräfte	20
Zerstreuungslinsen	248
Zerstreuungsspiegel	223
Zitteraal	438
Zitterrochen	437
Zonen, klimatische	514
Zugkraftmesser	53
Zungenpfeifen	209
Zusammendrückbarkeit	9
Zusammensetzung des weißen Lichtes	260
Zusammenziehung des ausfließenden Strahles	154

Digitized by Google



Digitized by Google

H. Hunklinger
Buchbinder
MÜNCHEN
Herzogspitalgasse Nº 22.

Digitized by Google

Digitized by Google